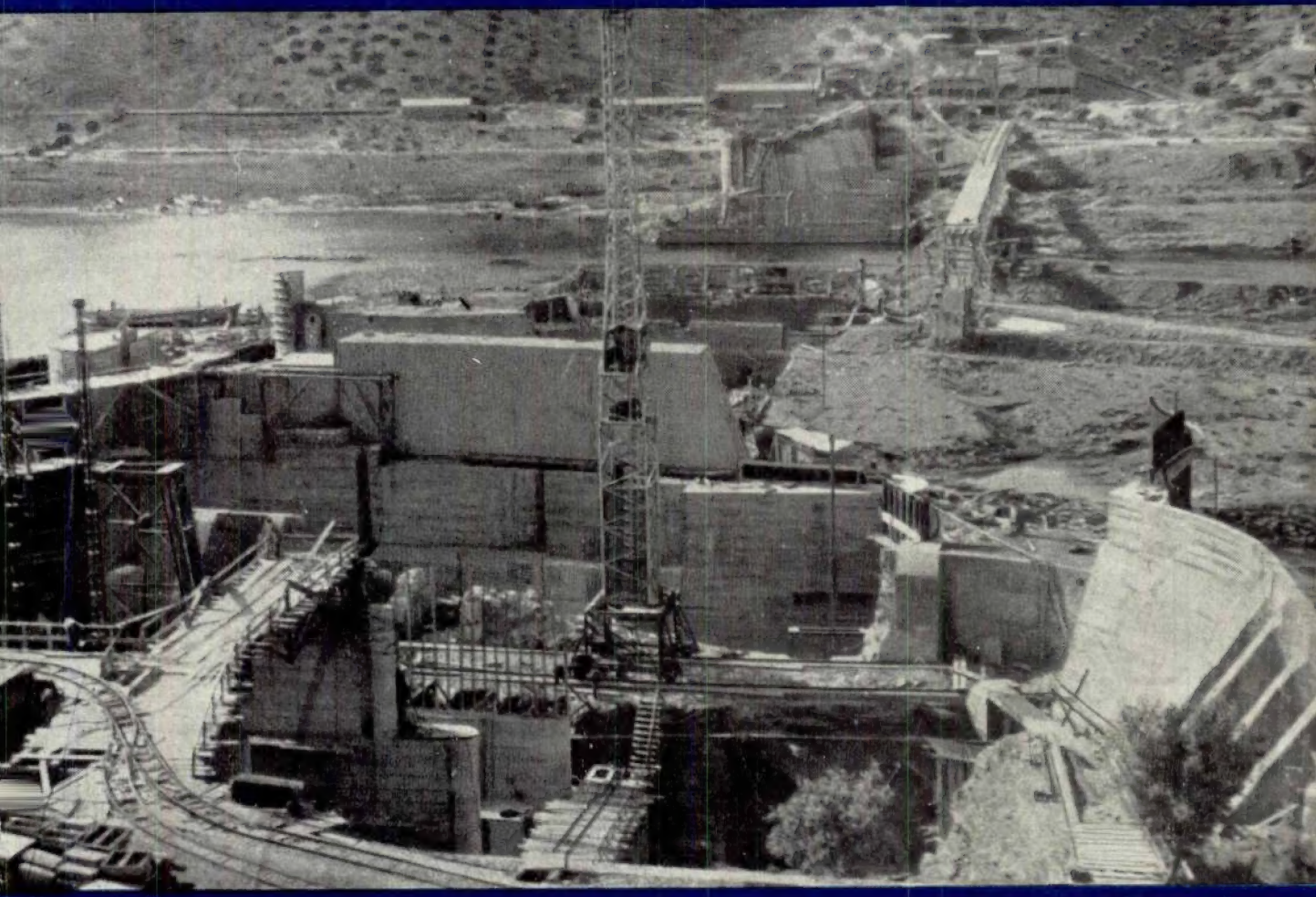
TÉCNICA



REVISTA DE ENGENHARIA
DOS ALUNOS DO I.S.T.

N.º 197-Dezembro-1949

CIMENTO

SECIL

Fabricado pelos mais modernos processos e preferido para todos os trabalhos de responsabilidade.
Sacos de papel ou de juta com 50 Kg.
Barricas de 180 Kg.

S E C I L

COMPANHIA GERAL DE CAL E CIMENTO
RUA DO COMÉRCIO, 56, 3.º
LISBOA

União Eléctrica Portuguesa

S. A. R. L.

SEDE
Rua Duque de Loulé, 240 — Pôrto
Telef. 2828 - 2829 - 2830 - Est. 90

DELEGAÇÃO
R. António Maria Cardoso, 13, 2.º-Lisboa
Telefones 27232 — 27233 — Est. 365

ELECTRICIDADE DO LINDOSO
E DAS CENTRAIS DO FREIXO E DA CACHOFARRA

A **União Eléctrica Portuguesa** distribui e vende electricidade nos **distritos** de VIANA DO CASTELO, BRAGA, PORTO, AVEIRO, COIMBRA, VISEU LEIRIA e de SETÚBAL, pela mais extensa rêde de alta-tensão em Portugal (mais de 1.200 kms), levando fôrça motriz às FÁBRICAS e luz a CIDADES, VILAS, ALDEIAS e LUGARES

A **U. E. P.** facilita a electrificação de Fábricas e oferece as maiores vantagens nas suas tarifas

Consultar a **U. E. P.** e consumir a sua energia é **proveitoso negócio**

CIMENTO TEJO

FÁBRICA EM ALHANDRA

A instalação mais moderna do País. Dois fornos rotativos em laboração. — O "CIMENTO TEJO" marca pelas suas altas resistências e regularidade, garantidas pela fiscalização contínua de todas as fases do fabrico, exercida por técnicos portugueses especializados.

Pedidos à Companhia "CIMENTO TEJO"

SEDE EM LISBOA
RUA DA VITÓRIA, 88, 2.º

FILIAL NO NORTE
AV. DOS ALIADOS, 20, 3.º
PORTO

NÚMERO
197
Dezembro — 1949

TÉCNICA

REVISTA DE ENGENHARIA
DOS
ALUNOS DO INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO
Redacção e Administração: AV. ROVISCO PAIS, IST / LISBOA-N. / TEL. 70144 (linha 50)

DIRECTOR
JOSÉ MARIA AVILLEZ
ADMINISTRADOR
LUÍZ DA CUNHA FERRAZ
BIBLIOTECÁRIA
MARIA HELENA PORTUGAL DA SILVEIRA
CORPO REDACTORIAL
ARMANDO COUTINHO DE LENCASTRE
JÚLIO FERREIRA LOPES
MARGELINO ABREU COSTA

NÚMERO AVULSO 9$00

ASSINATURAS:

	3 N.os	6 N.os	12 N.os
Continente e Ilhas	25$00	45$00	85$00
Colónias Portuguesas e Estrangeiro	—	50$00	90$00

EDITOR E PROPRIETARIO
ASS. DOS ESTUD. DO I. S. T.

COMPOSTO E IMPRESSO
NA
Tip. JORGE FERNANDES, L.da
RUA CRUZ DOS POIAIS, 103
LISBOA

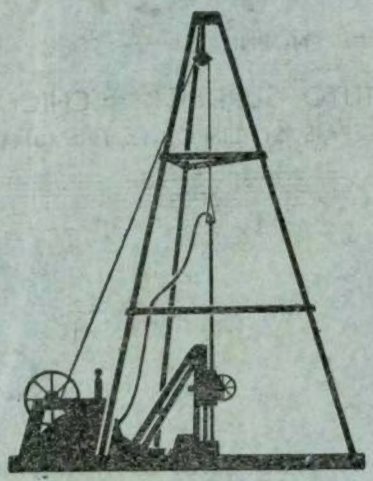
SUMÁRIO

CAPA — Barragem de Belver. Vista geral dos trabalhos em Setembro de 1949.

		Págs
Perante alguns prováveis caminhos da nossa industrialização	Eng.º Virgílio Rui Teixeira Lopo	729
A Mecânica do Solo e as suas aplicações	Eng.º Manuel Pimentel Pereira dos Santos	741
Decantação. Destilação. Condensação	Eng.º Luís A. de Almeida Alves	765
Vida escolar e associativa		778
Processos unitários da química orgânica — Polimerização	Eng.º Manuel Chagas Roquette	779
A Barragem de Belver no Tejo	Armando Coutinho de Lencastre	795
Do Mundo Técnico		800
Biblioteca		802

OS ARTIGOS PUBLICADOS NESTA REVISTA SÃO DE EXCLUSIVA RESPONSABILIDADE DOS AUTORES

SONDAGENS RODIO, Limitada



RODIO

Sondagens geológicas, estudo da resistência e permeabilidade de terrenos; laboratório geotécnico

Pesquisas de água.

Consolidação e impermeabilização de terrenos e de obras por meio de injecções de cimento, produtos químicos, argila activada, emulsão betuminosa Shellperm, etc.

Estacas de betão armado, sistema **Ródio** moldadas no solo sem trepidações.

Rebocos comprimidos por «**cement gun**»

Fundações em terrenos difíceis quer por congelação artificial, quer por abaixamento do lençol de água.

As melhores referências no país e no estrangeiro

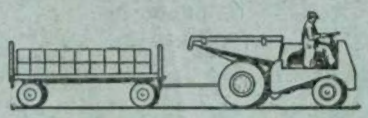
Sócio gerente residente em Portugal:
Walter Weyermann, Eng. civil

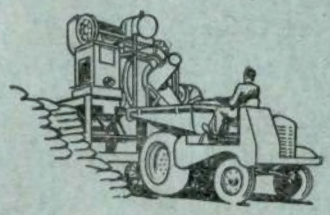
R. S. Mamede ao Caldas, 22, 3.º — LISBOA

Tel. 2 8685

MUIR-HILL DUMPER

TRANSPORTADORES BASCULANTES COM COMANDO ROTATIVO





O método mais económico de transportar materiais a granel, como podem comprovar as unidades já ao serviço em Portugal

///

OS REPRESENTANTES EXCLUSIVOS

HENRY M. F. HATHERLY, L.DA

RUA DO COMÉRCIO, 8

Telefones 2 2001 e 2 6633 — LISBOA

vos fornecerão todos os detalhes e as suas propostas para entregas rápidas

TÉCNICA

JOSÉ MARIA AVILLEZ
DIRECTOR

ANO XXVI - N.º 197 DEZEMBRO 1949

PERANTE ALGUNS PROVÁVEIS CAMINHOS DA NOSSA INDUSTRIALIZAÇÃO

A INVESTIGAÇÃO E O ENSINO

PELO ENG.º QUÍMICO-INDUSTRIAL (I. S. T.) VIRGÍLIO RUI TEIXEIRA LOPO

C. D. 62.003 (469)

(Conclusão)

II — A investigação

A consideração simultânea de alguns prováveis caminhos da nossa industrialização e do ensinamento deduzido da evolução da técnica nos países mais adiantados, põe, claramente, o problema dos meios a utilizar para o encurtamento da distância que nos separa do nível que se deverá atingir. Quase se poderá dizer mesmo, com leve exagero, que neste caso, são os meios que condicionam os fins, uma vez que, definido o objectivo, a dificuldade reside apenas na certeza do caminho.

Na generalidade, o estudo dos nossos problemas industriais tem-se resumido (e continuará durante algum tempo a resumir-se) em encontrar nos progressos estranhos e partindo das nossas possibilidades e necessidades imediatas, um ajustamento de realização; do mesmo modo, é de esperar que os processos a usar sejam os mesmos em que, por toda a parte, assentam os progressos na evolução da indústria.

Este facto, aliado à consideração de que nem sempre é fácil o trabalho de adaptação ao nosso meio dos processos alheios; de que a todo o incremento da nossa industrialização corresponderá um aumento de autarquia e emancipação; ao conhecimento concreto, enfim, de alguns problemas que desde já se põem com intensidade em algumas das nossas concentrações de indústria química — leva a pôr, em primeiro plano, a urgência de considerar em bases seguras, o *problema da investigação.*

a) *A investigação e a indústria química*

Nascida verdadeiramente da pesquisa, alicerçando a sua evolução recente em bases profundamente científicas, utilizando a cada momento matérias primas mais pobres, exigindo-se-lhe contìnuamente melhoria de qualidade, permitindo após cada descoberta

ou interpretação, a generalização a campos diferentes — a indústria química permite-nos assistir, por toda a parte, a um acréscimo extraordinário da *investigação* das suas possibilidades.

De tal modo generalizada a ideia, quase com forma de postulado, de que a investigação está na base de qualquer progresso e em qualquer estado de adiantamento, que a criação de centros de pesquisa deixou de ser apanágio dos países mais adiantados, para se estender, em moldes diferentes para cada caso, a quase todos os países e a quase todos os campos da indústria.

É assim que, por exemplo, se referia recentemente, como feliz presságio de renovação da Índia ([1]), a criação de um «Centro de Pesquisa Científica», com Laboratórios Nacionais de Física, Química e Metalurgia e de Institutos Centrais de Pesquisas sobre cerâmica, vidro, electroquímica, hulha, e produtos farmacêuticos.

Países coloniais, como a Bélgica, dispõem já, para o estudo específico dos problemas de química relacionados com o desenvolvimento das colónias, de organismos de pesquisa; o Congo Belga possue um «Centre Colonial de Documentation et de Coordination de Recherches Chimiques» e um «Laboratoire de Recherches Chimiques du Ministere des Colonies» que estudam e coordenam apenas, problemas de química de interesse directo para a colónia.

Tanto se tem recentemente insistido no assunto, que a ideia de investigação se generalizou a ponto de ser necessário precisar, em cada caso, a sua função e objectivo. Talvez seja mesmo esse um dos motivos por que, recentemente, as revistas da especialidade se ocupam, com carácter mais ou menos doutrinário ou exemplificativo, da questão. Como ideia definida e básica, porém, comum na essência a todas as sistematizações, continua a manter-se, com redobrado vigor, aquela em que Tyler já insistia em 1930 ([2]):

«There is no question whether research shall be done or how it shall be done, but what lines of research shall be followed up».

É, efectivamente, esta ideia, que parece ser generalizável não só a todos os campos da indústria química, como de uma maneira geral a toda a indústria, podendo, sem receio, afirmar-se, como recentemente se fez a propósito das correntes fortes ([3]), que «toda a indústria que quer bem servir e adaptar-se constantemente às necessidades flutuantes do mercado, tem de, constantemente, melhorar os seus produtos e as suas construções ou processos».

É a concretização desta ideia que se traduz no empreendimento dos trabalhos de pesquisa, de natureza diversa, quer realizados nas salas de cálculo e de projecto, quer nos locais de ensino, quer nos laboratórios de investigação. Problema nem sempre fácil, mas sempre existente e sempre posto em qualquer organização industrial, desde que se procure encontrá-lo, tem acima de todos os outros, o mérito de, generosamente dar após cada avanço, o estímulo para se empreender nova jornada.

. . . . . .

O incremento de trabalho de investigação em todo o mundo tem, como seria de esperar, um paralelismo absoluto de evolução na técnica, em especial nas últimas décadas, seguindo após a guerra a orientação anteriormente desenhada, porventura com intensi-

---

([1]) Vyasulu, Chimie et Ind., Dez. 1948, pág. 604.
([2]) Chemical Engineering Economics.
([3]) Krenauer, Bulletin Sécheron

dade acrescida em quase todos os campos. Tem particular interesse, como demonstração deste acréscimo, a evolução verificada nalguns dos países mais progressivos no campo industrial.

Nos Estados Unidos, em particular, o National Research Council, na sua publicação de 1946 «Industrial Research Laboratories of the United States» mostra-nos alguns aspectos curiosos dessa mesma evolução.

A existência de laboratórios, naquele país, variou de cerca de 300, referidos na publicação de 1920, a 2264 em 1940 e a cerca de 2500 em 1945, sendo o acréscimo verificado no pessoal utilizado, de 70.000 para 140.000 desde 1940 a 1946, isto é, aproximadamente, um por mil habitantes, com despesas efectuadas de 4.000 dólares por ano e por indivíduo utilizado em trabalhos científicos. Nestes números excluem-se as Universidades que realizam trabalhos de pesquisa ao serviço da indústria.

Ao que parece, neste país, a média das despesas em pesquisa é de cerca de 3,5 % das vendas anuais; como acontece em todos os investimentos de capital, está verificada a compensação pelo abaixamento do preço de custo dos produtos considerados globalmente, uma vez que se nota que, embora variando para alguns produtos a estabilidade de aquisição, no conjunto se verifica uma relativa estabilidade nas compras ([1]). É considerado como que uma espécie de axioma, que a distância que separa a descoberta da sua introdução no mercado, anda por cerca de seis anos.

Na Suíça, o desenvolvimento dado à investigação (sobretudo nos domínios que interessam à indústria de máquinas, hidráulica, electrotecnia, termodinâmica e metalurgia), justifica a posição actualmente disfrutada por aquele país, em que existe um contacto íntimo entre a Universidade e a Indústria. Segundo informações que vão chegando ([2]) «a actividade científica é tão grande que as importâncias consagradas a este fim são em valor absoluto maiores que as de numerosos outros países, de população dez vezes superior e também largamente industrializados».

Na Inglaterra, o problema da investigação na indústria química tem sido retomado intensamente, em bases que parecem de particular interesse para nós referir. O Presidente da «British Association», sir Tizard, numa conferência recente, sustentava como principal tese (que justificava com exemplos concretos) que «a segurança da indústria britânica no mundo moderno depende tanto, ou mais, da aplicação dos conhecimentos científicos já adquiridos, como da aplicação de novos conhecimentos nas ciências físicas».

E, notando que tais conhecimentos se acumulam com uma velocidade muito maior do que aquela em que podem ser aplicados na indústria, havendo, por este facto, um vasto conjunto de investigação esperando utilização, insistiu em que «nenhuma descoberta em qualquer campo está apta a ter um efeito tão benéfico na indústria britânica como o que já é conhecido».

Como se verifica, esta ideia dominante corresponde, em parte, àquilo que na sistematização de Tyler se designa por «Saving through Improvement of Present Products and Processes» e, com o aspecto fundamental de aplicação, tem uma estreita ligação com todos os aspectos restantes da pesquisa

Aliás, os resultados da pesquisa na Grã-Bretanha são notáveis sob muitos aspectos, embora a pesquisa tenha neste país algumas características peculiares.

O «Chemical Trade Journal» ([3]), por exemplo, refere-nos recentemente alguns progressos obtidos durante a guerra, no que respeita a plásticos vinílicos, à «gammexane» e «methoxone» (já fabricados em larga escala em Widnes), a novos plásticos para isolamentos

---

([1]) William Haynes, The Role of Research.
([2]) Suíça, «Técnica», n.º 2, 1948.
([3]) Março de 1949, pág. 303.

eléctricos, etc. Alguns progressos recentes da I. C. I., por exemplo, constantes já de publicações, dizem respeito ao estudo de equilíbrios e velocidade de reacções a altas pressões, à determinação de pesos moleculares elevados, à fundição de alumínio, ao estudo de luz polarizada, etc..

A despesa feita pela Grã-Bretanha nos centros de investigação passou de 470.000 lb. em 1938 a 2 milhões em 1947, devendo atingir este ano, ao que parece, mais de 2,5 milhões de libras.

Por outro lado, a rápida recuperação da Bélgica está ligada intimamente a uma revisão do problema da investigação neste país. Com resultados amplamente satisfatórios, segundo o Sr. Cornil, administrador-delegado da «Féderation des Industries Belges», na sua comunicação ao último congresso de química industrial, foram consagradas somas enormes para o incremento da investigação. Segundo a doutrina dessa mesma comunicação, e tendo sido ultrapassada a era da pesquisa individual, «l'ampleur des problèmes à resoudre nécessite un effort d'ensemble, une répartion du travail, une mise en commun des résultats acquis; la recherche ne peut être rentable que pratiquée sur une grande échelle et assurée d'importants débouchés».

Do mesmo modo, em França, assiste-se a uma renovação do problema, com intensidade crescente, procurando encontrar as bases que permitam, neste campo, o regresso a uma posição industrial melhor. Como por toda a parte, aí talvez com maior insistência, as publicações revelam muitas vezes uma tendência doutrinária, no sentido de determinar os melhores processos ou os melhores caminhos e diferenciações nos institutos de investigação existentes. É curiosa a evolução do Instituto de Pesquisa sobre Siderurgia — o I. R. S. I. D., cujo estabelecimento estava previsto desde 1938 — que começou a funcionar em 1944 com laboratório de tecnologia e máquinas pesadas ao lado de laboratórios de ciência pura (física, metalurgia, química e química-física) e que criou há pouco um centro de ensaios de minérios em Saulnes e outro em Longwy para estudos sobre a utilização do coque no alto forno. Este mesmo Instituto concluíu acordos com indústrias diversas a fim de criar organismos comuns; em particular, cooperando com a indústria hulheira, criou um laboratório e uma bateria experimental de fornos a coque.

Numa conferência recente, o Sr. Bigeon [1], citando a descoberta do freon, insistia em que «na origem de todo o progresso importante hoje verificado está a pesquisa científica» e acrescentava que «o engenheiro que deve assumir a marcha de uma fabricação não pode entregar-se à pesquisa, sendo esta própria do investigador, engenheiro também, mas livre dos cuidados diários da fabricação, conhecedor profundo dessa mesma fabricação e em ligação directa com o engenheiro desta».

. . . . . .

O problema da investigação põe-se hoje, portanto, em todos os países, aliás com maior amplitude de tipos de pesquisa nos mais progressivos, e sempre com a finalidade imediata de permitir uma melhoria de produção, diminuição concomitante de preços de custo e portanto elevação do nível de vida.

Com aspectos diferentes em cada país e em cada ramo, a investigação deixou de ser condição básica de progresso *relativo* de um país ou de um sector industrial em relação a outro; a noção existente, confirmada pela experiência dos mais progressivos é que, investigar, é uma condição básica de progresso próprio em *todas as indústrias* e em *todos os países,* como um mínimo indispensável para acompanhar, em condições económicas, a evolução normal ou mesmo, inclusivamente, utilizar os progressos estranhos.

---

[1] L'Industrie Chimique, Junho 1949, pág. 103.

Com carácter absoluto, portanto, este aspecto fundamental do problema não permite pôr em dúvida a necessidade da sua consideração entre nós. A dificuldade está, apenas, em sabermos precisamente, dentre a multiplicidade de aspectos que hoje reveste, aqueles que mais directamente nos interessam e, uma vez fixados, encontrar uma «*mentalidade de execução*» que não permita o desvio das ideias directrizes para uma organização burocratizada e cómoda, tão agradável como perniciosa.

b) *Alguns aspectos particulares da pesquisa*

O estudo dos problemas genéricos da investigação, com o objectivo de fazer a sistematização dos seus aspectos múltiplos, de estabelecer a melhor utilização dos seus processos e integrar a investigação na organização da empresa, tem sido insistentemente reavivado, como seria de esperar; de uma maneira geral, as últimas revistas da especialidade, as comunicações dos últimos congressos, etc., são férteis em trabalhos sobre o assunto.

Entre nós, os primeiros trabalhos tendentes a marcar em bases mais ou menos definidas e num plano geral, a posição do problema, cremos terem sido os estudos relativos aos caminhos futuros da nossa industrialização, quase sempre referindo-o em comum com o problema do ensino ([1]).

Deixaremos para mais tarde a insistência na importância que o problema tem para nós, se quisermos evitar uma perda parcial importante do esforço que se está fazendo para o reapetrechamento da nossa indústria. Resumiremos, por agora, alguns dos aspectos da sistematização do trabalho de pesquisa que terão, porventura, maior interesse na adaptação ao nosso meio.

De todas as sistematizações dos tipos de investigação, que conhecemos, a que nos parece mais interessante é a que Tyler considera na obra anteriormente referida:

New Uses for Present Products; New Products from Present Materials and Techniques; Demands for a Specific Product or Service; Latent or Generally Unrecognized Needs; Suggestions, Ideas and Inventions Originating outside the Organization; Savings through Improvement of Present Products and Processes: Development of New Raw Materials; Fundamental Research.

De uma maneira geral para todos os tipos de investigação parece verificar-se:

1) o desaparecimento, cada vez mais acentuado da diferenciação entre investigação teórica e prática nos organismos modernos de pesquisa científica;

2) a exigência de que a investigação seja praticada em larga escala, com coordenação de organismos afins e com organização de trabalho de «equipe», estudando essencialmente problemas considerados nacionais;

3) a necessidade de uma ligação íntima entre os institutos de investigação (oficiais ou da indústria particular) e a Universidade.

Tocaremos este terceiro ponto separadamente por nos parecer de interesse especial. Por agora notaremos que, da consideração do que se acaba de referir se conclue que dificilmente poderá a indústria privada resolver todos os problemas de interesse nacional que exigem trabalho de pesquisa; e, nem mesmo parece ser fácil para aquelas que não tenham atingido um determinado desenvolvimento, resolver os problemas que lhe são inerentes e exijam trabalho da mesma natureza.

Na Bélgica, por exemplo, a grande maioria dos centros de pesquisa são de iniciativa privada, cuja actividade necessita sempre da aprovação do Estado. Com funcionamento próprio, cada organismo submete ao Ministério respectivo (de Coordenação Económica e

---

([1]) Vide, por ex. «Ensaios de Economia Aplicada» do Eng. Araújo Correia, pág. 70 e 86.

Reequipamento Nacional neste país) o relatório anual dos seus trabalhos. Supomos que é em bases um pouco idênticas que funciona na Suiça a «Estação Federal de Ensaios e Controle de Materiais»

Dentro de cada empresa em que existe uma organização de trabalhos de pesquisa, é normal a existência de divisões autónomas (logo que o desenvolvimento o justifique) embora coordenadas. Um exemplo interessante desta orgânica é dado pela I. C. I. que, há pouco, possuia cerca de 3.500 pessoas em trabalhos de pesquisa com uma despesa anual de mais de 3.500.000 libras, repartidas por pesquisas puras (15%), produtos novos (54%), melhoramento de processos de fabricação e de qualidade dos produtos (17%) e substituição integral dos processos de fabricação (14%). As divisões autónomas que possue — álcalis, Billingham, còrantes, pinturas — constituem, no conjunto, os seus centros de pesquisa. Às divisões antigas é de norma distribuir trabalhos novos a fim de manter sempre presente uma actividade essencialmente dê pesquisa.

Esta grande associação dá, como se vê, dentre os objectivos da pesquisa, particular relevo aos trabalhos sobre produtos novos, justificando tal no facto de, só assim, poder conservar pessoal de excepcional valor (evidentemente, além do interesse directo desses mesmos trabalhos).

. . . . . .

Os problemas que mais frequentemente se põem num organismo de investigação são os que consistem em procurar a melhoria da qualidade de um produto ou da técnica utilizada na sua fabricação, tendo sempre em vista a redução do seu preço de custo; geralmente, a resolução destas questões é operada na fábrica interessada, ajudada com ensaios laboratoriais, principalmente quando se trate da melhoria de um produto.

Fazendo essencialmente parte do laboratório de pesquisas (no sentido mais lato), o problema de maior frequência é o do estudo da fabricação de um produto existente por um processo pouco conhecido ou novo. Este estudo é normalmente originado, ou no desejo de baixar o preço do custo, ou na dificuldade ou impossibilidade de aquisição das matérias primas normalmente usadas, ou no interesse em combater um produto da concorrência ou, ainda, quando se pretende fazer uma montagem nova.

Este aspecto, que não constitui o problema por excelência da pesquisa, é no entanto o de maior interesse nas empresas e organismos comuns. É para este fim que deverá estar, na maioria das empresas, preparado o laboratório de pesquisas e o centrò de estudos e projectos que, como veremos adiante, se encontrarão ìntimamente ligados.

Para países e organizações mais progressivas, o problema de maior interesse relativo, será o da descoberta de produtos absolutamente novos e dos processos da sua fabricação. Aliás, isto que corresponde à «Fundamental Research» na sistematização de Tyler, é a base de todo o futuro da indústria química e, como é de esperar, o trabalho de pesquisa mais difícil e moroso. A maior parte das vezes só se poderá praticar sistemàticamente em institutos com larga experiência nos outros campos da pesquisa e, como se notou no exemplo da I. C. I., uma vez atingido o nível que dessa experiência resulta, é de importância primordial a sua posição na organização que serve.

Um outro aspecto, de grande interesse também, é o que diz respeito à investigação de novos métodos analíticos, sendo, em opinião muito generalizada, de valor comparável à que tem por objectivo a pesquisa de produtos novos. Este facto, leva a criar em organizações industriais de relativa importância, uma investigação deste tipo nos laboratórios de controle, com o objectivo inicial, em muitos casos, de adaptar às análises dos seus produtos, processos analíticos normalmente conhecidos com aplicação diferente.

Com a finalidade de uma maior rapidez e economia, quase sempre conseguida por métodos físicos, é este o único aspecto em que a pesquisa deverá estar ligada directamente

aos laboratórios de controle, sendo em relação aos restantes, de uma independência funcional igual à de qualquer outra secção da empresa.

Não pormenorizaremos os métodos de trabalho e os princípios fundamentais a considerar na organização dos centros de pesquisa, o que sairia do âmbito, bastante limitado, em que tratamos a questão. Existem sobre o assunto trabalhos interessantes como, por exemplo, o do Sr. Pierre Trunel na Chimie et Industrie, Nov. 1948.

Referiremos, apenas, a importância que têm a documentação a coligir e a sua crítica; a escolha e condução dos ensaios a realizar, em especial os chamados «ensaios básicos», após os quais se poderá passar para os ensaios em maior escala, muitas vezes feitos com sistematização no «laboratório de aplicações», se existir, ou mesmo na «instalação-piloto» em certos casos. Estes ensaios são normalmente feitos em colaboração com o engenheiro da fabricação.

A pesquisa das possibilidades de aplicação de produtos foi largamente praticada na Alemanha (por ex. na I. G.) e nela se alicerçou grande parte do progresso técnico deste país.

Todo o trabalho de pesquisa encontra hoje a facilitá-lo normas mais ou menos seguras onde, com vantagem se integram, quer a sistematização (algumas vezes discutível) das experiências, quer as características dos ensaios em escala semi-industrial, quer os próprios relatórios dos estudos feitos. Há, no entanto, muitas circunstâncias de importância primordial no êxito da pesquisa que é difícil precisar e, uma das maiores é, sem dúvida, o valor do próprio investigador.

Com Le Chatelier, poder-se-á dizer que «pour forger des hipothèses travail le plus difficile de la recherche, il faut une imagination ardente, en un mot, la tournure d'esprit de tous les inventeurs, mais il faut de plus deux qualités qui manquent habituellement à ces derniers: la documentation scientifique et le bon sens. La documentation scientifique, parce que les hipothéses se forment presque toujours par voie d'analogie; le bon sens, enfin, pour éviter les erreurs de judgement».

c) *A Investigação no plano da organização da empresa*

No esquema geral da organização de uma empresa, com a marcha da fabricação assegurada por uma direcção técnica operando em ligação directa com os serviços de compras e vendas, possuindo um serviço de manutenção (em geral com um gabinete de estudos próprios), existirão normalmente e desde que a sua importância os justifique, os seguintes organismos complementares:

— um laboratório de controle, descentralizado ou não em laboratórios parciais, conforme a fabricação o exigir;
— um laboratório de aparelhagem física de controle;
— uma secção de investigação;
— uma secção de estudos e projectos;
— um laboratório de aplicações.

O *laboratório de controle* e o de *aparelhagem física de controle,* mantêm uma estreita ligação, dada a identidade dos seus objectivos. O último, tem como função específica a de assegurar a fiscalização da marcha da fabricação por meio de aparelhos de controle e de medida e, simultâneamente, a manutenção de toda a aparelhagem de medidas físicas ou físico-químicas da fábrica.

Enquadrando a sua existência na tendência, cada vez mais generalizada, para o controle automático das operações de fabricação, este laboratório pode alargar a sua acção

ao controle de materiais, quer na recepção, quer no funcionamento, facilitando muitas vezes, o trabalho de pesquisa se, na sua direcção houver, além de um conhecimento actualizado de processos automáticos, um conhecimento profundo de resistência química de materiais, microradiografia, etc.. Este laboratório estará, com vantagem, dependente dos serviços de manutenção.

Notaremos desde já que em algumas nossas grandes organizações se faz sentir a necessidade de um laboratório desta natureza.

As secções de *pesquisa* e de *estudos e projectos* constituirão, por outro lado, um todo complementar, directamente ligado à direcção e por seu intermédio à administração da fábrica.

Vimos anteriormente os vários aspectos que pode revestir o trabalho da secção de pesquisa que, em resumo, serão, dentre os considerados por exemplo na sistematização de Tyler, os de mais directo interesse para a empresa.

Esta *secção de pesquisas,* duma maneira genérica e esquemática, compreenderá, na sua organização: uma direcção de investigação, trabalhando em paralelo, perante a direcção geral da empresa, com as direcções da produção e das vendas e a secção de estudos e projectos, com superintendência directa sobre a direcção do laboratório de investigação, o serviço de patentes e o serviço de determinação do preço de custo.

A direcção do laboratório de investigação compreenderá uma secção de bibliografia, uma secção de investigações, uma secção de experiências e um escritório próprio. A secção de investigação, por seu turno, possuirá vários grupos de investigação.

Este esquema é, aproximadamente, o indicado na obra referida, «Chemical Engineering Economics» e adapta-se, com as simplificações indicadas para cada caso, a algumas empresas e organismos nossos, onde o problema da investigação e os que lhe são inerentes se fazem sentir.

A *secção de estudos e projectos* (ou organismos equivalentes, com outra designação, quase sempre existentes em empresas nossas) parece dever ter, em opinião generalizada e uma vez organizado o centro de investigação, duas tarefas distintas mas complementares, a resolver:

— uma, será a de, no caso de fábricas ou conjuntos adquiridos a entidades exteriores ou quando se pretendam modificações nas instalações existentes, estudar com o engenheiro da fabricação respectiva, a implantação da aparelhagem, a verificação tecnológica do processo e do cálculo da aparelhagem recebida, a transformação dos desenhos de projecto em desenhos de oficina e estudo da parte de fundações, edifícios e estruturas, dará ao engenheiro da fabricação elementos para a elaboração do «planning» de montagem e, no caso da existência do laboratório de aparelhagem física de controle, fará com este, o estudo dos materiais de construção.

— outra, será a de, em ligação directa com a secção de pesquisa, permitir a passagem à escala semi-industrial dos trabalhos executados em escala mais reduzida e desta à instalação piloto ou mesmo à escala industrial desejada. No caso de um trabalho de investigação de que resulte uma modificação nas instalações existentes, permitirá a execução da modificação prevista pela resolução do pormenor.

O *laboratório de aplicações,* quando a importância e variedade das fabricações justifiquem a sua individualização (caso da I. C. I.), terá como missão o estudo de novas aplicações dos produtos fabricados e dos produtos novos, colaborar com os serviços comerciais no lançamento destes últimos e ajudar os compradores na melhor aplicação dos produtos que a empresa vende.

Estas são as ideias que parecem deduzir-se da experiência alheia, transcrita em constantes trabalhos que pretendem uma actualização do assunto, no sentido da melhoria do trabalho de conjunto na empresa. Problema cuja revisão está delineada, ao que supomos, em algumas empresas e organismos nossos, tem como principal garantia de êxito, a coordenação de esforços dos seus serviços.

Será de esperar que dessa coordenação resulte um abreviamento dos trabalhos de montagem no nosso reequipamento industrial, uma mais rápida amortização dos capitais investidos e um alargamento de possibilidades da nossa indústria. Há que confessar que, em matéria de abreviamento se poderá, por certo, fazer melhor, deixando pelo menos, de justapor às dificuldades das circunstâncias gerais, a inércia e os atritos, sempre de acção retardadora, que infelizmente aparecem quase com a frequência de cada caso a resolver.

d) *A investigação perante alguns prováveis caminhos da nossa industrialização*

Nas ideias gerais que resumimos anteriormente, na sua maioria simples resultado da observação de processos alheios, supomos poder encontrar-se a dedução da posição do problema da pesquisa perante os prováveis rumos da nossa indústria.

No seu conjunto, os aspectos referidos não são, pela generalidade e superficialismo com que foram postos, adaptáveis directamente, sem restrições, a grande parte das nossas empresas e organismos afins.

É certo que muitos dos exemplos citados transcendem as possibilidades do nosso meio em segui-los no seu aspecto global. Mas não é menos certo, também, que não será fácil nem parece ser de interesse, deixar de seguir as normas que os outros consideram como postulados, sobretudo as que se resumem na ideia de que o trabalho de investigação está na base de qualquer progresso e se exige, em valor relativo, indiferentemente nas grandes e nas pequenas empresas e, duma maneira geral, em todos os países, independentemente do seu nível técnico actual.

Esta ideia fundamental, consolidada pela experiência dos pioneiros em cada sector da indústria, tem, entre nós e por mais exagerado que pareça, uma oportunidade de aplicação bastante fácil de comprovar. Será mesmo fácil acentuar que, dentre os tipos de investigação referidos na sistematização de Tyler, têm de momento, particular interesse para nós os indicados como: «*Savings through Improvement of Present Products and Processes*», «*Suggestions, Ideas and Inventions Originating outside the Organization*» e «*New Products from Present Materials and Techniques*».

Efectivamente, a estes tipos de investigação correspondem, na sua essência, numerosos problemas postos desde já em algumas nossas organizações industriais, no reapetrechamento a que estamos assistindo. Muitos mesmo, tiveram de procurar, na estrutura e com as limitações dos meios existentes, a solução que urgia dar-se-lhes.

Não exemplificaremos de uma maneira concreta, apenas pelo facto de, na sua maioria, estes problemas fazerem parte de programas de fabricação de empresas particulares, de resto em breve fàcilmente conhecidos. Podemos, no entanto, notar, de uma maneira genérica, que tem sido frequente a necessidade de encontrar, com detalhe, o processo de fabricação de produtos importados, sobretudo no campo dos insecticidas e fungicidas; de encontrar para alguns destes produtos a forma física de melhor aplicação, sugerida pela introdução no nosso mercado de produtos estrangeiros, de preços por vezes duplos daqueles por que se conseguiram fabricar e preparar entre nós; que, nalguns trabalhos em curso, como o aproveitamento de certos sub-produtos, não foi possível encontrar sempre na literatura existente o processo da sua fabricação económica, por vezes determinado apenas no prosseguimento de um trabalho de pesquisa.

Por outro lado, nem sempre foi possível a resolução dos problemas existentes em fabricações velhas, com a finalidade ou não de substituição de aparelhagem, sem um trabalho com muitos aspectos de investigação industrial.

Supomos ser fácil deduzir-se que, nas novas instalações será mais frequente o aparecimento de problemas no género, sobretudo se notarmos que a existência de consultores

estrangeiros não é pròpriamente uma fonte inesgotável de soluções, que aliás só podem fornecer quando for feito, a par, um estudo particular dos problemas postos. Se, por sobre todos estes factos, pusermos a possibilidade, sempre ao nosso alcance, de procurarmos aplicar aos nossos processos e às nossas condições (técnicas e económicas) os conhecimentos que a todo o momento nos são fornecidos — aplicação de-certo feita mediante trabalho de investigação na sua maioria — verificamos a inconsistência da tese, fácil e cómoda, a que tanto somos afectos, de que é prematuro investigar onde há sobretudo que produzir.

Não é possível, portanto, hoje considerar com independência *investigação* e *produção*, se pensamos em produzir melhor, em nos bastarmos num mínimo a que o acesso seja mais generalizado. Como todos os problemas da indústria, o da investigação é um problema económico. Neste aspecto e ainda aproveitando a experiência alheia, diremos que «research is recognized as a primer necessity in any chemical enterprise, and the industry pays the biggest bill in the country in hard-headed apreciation of the fact that only constant research can assure the profits of today, and insure the sales of tomorrow» ([1]).

III — A investigação e o ensino

À tendência — que anteriormente referimos — para a identificação de «pesquisa teórica» com «pesquisa prática», de «pesquisa científica» com «pesquisa industrial» corresponde, como seria lógico esperar, uma necessidade de estreita ligação entre a Universidade e a Indústria no sector da investigação.

Verificada um pouco por toda a parte esta ligação, tem particular relevo nos Estados Unidos e na Suíça, pelo menos pelo que das publicações relativas ao assunto parece poder deduzir-se.

Escreveu-se recentemente que nas universidades americanas se verificou, sobretudo após a guerra, um crescente interesse pela pesquisa industrial, atribuído ao facto de esta «contribuir poderosamente para o progresso das ciências naturais». De uma maneira semelhante, na Suíça, (como de resto, noutros países em menor escala) esta ligação permitiu uma «organização racional da investigação» ([2]) e levou à aquisição, para as escolas de engenharia, de «instalações de ensaio» que permitem a cada professor, na sua especialidade, completar o curso teórico por meio de demonstrações experimentais e dedicar-se a trabalhos de investigação de interesse geral.

Estas instalações deram à indústria a possibilidade de fazer nelas investigações e ensaios, com que pode completar o trabalho de investigação dos seus centros privativos de pesquisa — por exemplo, estudos teóricos sobre certos fenómenos muitas vezes conhecidos na prática, mas dependentes de variáveis não completamente determinadas.

Este aspecto de interdependência entre a Indústria e a Escola, em cuja justificação, por evidente, não vale a pena insistir — obriga a rever, em muitos pontos, a estruturação de uma e outra, o que terá a vantagem, pelo menos, de pôr em evidência a necessidade de uma actualização de processos. Supomos que, em última análise, é neste facto que reside o motivo por que tanto e com tanta razão, se tem insistido na necessidade de uma revisão do nosso ensino técnico.

Com um aspecto construtivo que lhes confere um mérito especial, os trabalhos relativos ao Ensino Técnico Superior (alguns publicados na *Técnica*) exigem um estudo cui-

---

([1]) William Haynes, The Economic Pattern, Manual of Industrial Chemistry.

([2]) Déglon, Os Laboratórios de Investigações Científicas e Técnicas das Escolas Politécnicas e da Indústria de Máquinas, na Suíça.

dadoso dos pontos que referem, porque parece não lhes faltar, infelizmente, oportunidade. Tornar-se-ia portanto, supérflua, na referência a uma necessidade de ligação íntima entre a Indústria e a Universidade no campo da pesquisa, a insistência na importância dos pormenores de orgânica que se exigem na última para ser útil à primeira; e tanto mais, quanto é certo que o problema também aqui não consiste apenas no estabelecimento de princípios, mas principalmente na execução acertada e corajosa dos princípios geralmente estabelecidos, que a experiência dos mais progressivos confirma.

Limitar-nos-emos a notar que uma das condições fundamentais para se atingir o objectivo em questão, está no reequipamento material das nossas Escolas Superiores, problema que, aliás, muitas vezes tem sido ventilado.

É difícil avaliar em que medida relativa contribuem para a eficiência do ensino — portanto da investigação — o valor do corpo docente que o ministra e o do equipamento que utiliza. E nem sabemos bem se a pobreza nacional, que tantas vezes se considera como fatalismo geográfico para justificar a pequenez das nossas dotações orçamentais para as Escolas Técnicas Superiores, é motivo ou consequência dessa mesma pequenez, uma vez que não é fácil sair do ciclo a que obriga o pensar-se que, sem condições económicas suficientes nas nossas escolas não é possível o progresso económico do País e que, sem este, não é fácil a melhoria das condições económicas das escolas. (1)

Sabemos, porém, que certas iniciativas esboçadas para a realização de trabalhos de investigação nas nossas Escolas Superiores, com carácter sistemático, não têm tomado outro incremento que o de primeiros ensaios em escala reduzida e com material rudimentar; e que outras têm procurado (com facilidades transitórias pelo carácter particular que revestem) em organismos exteriores as possibilidades da sua realização, uma ou outra vez levada ao termo desejado.

A exemplificação não é difícil, mesmo sem sair do campo da catálise em química orgânica, do estudo de alguns equilíbrios em química-física, de ensaios de resistência química e mecânica de materiais, etc.. Supomos mesmo, que é nestes campos e presumìvelmente também no da electroquímica (dentro da engenharia química) que se colherão os primeiros frutos de uma investigação organizada.

Outras circunstâncias e outras condições se exigem na formação escolar para servir a indústria por meio da investigação. Esta mesma, não se limitará por certo a trabalhos de natureza exclusivamente experimental, pois que, se bem que se apoie normalmente nestes, tem largo campo de pesquisa na interpretação teórica dos fenómenos, fonte de generalizações constantes.

Tudo se parece resumir na preparação para a vida técnica, em aprender a investigar, a projectar e a dirigir, de modo a ser possível criar uma estrutura industrial, que permita a utilização tecnológica dos resultados da pesquisa, com as vantagens inerentes de rendimento e de preço.

Esta conclusão vem, mais uma vez, pôr em foco o problema da organização dos cursos de Engenharia, com o objectivo de uma preparação tão eficiente quanto possível para as necessidades fundamentais da vida profissional; no caso particular da Engenharia Química, em que é difícil definir rigorosamente os limites entre a preparação geral e a especialização, esse problema apresenta-se talvez com maior acuidade, o que justifica, até certo ponto, o facto de ter sido o primeiro a ser tratado, com carácter objectivo. (2)

A análise dos estudos feitos, mostrando o cuidado que é necessário ter para que, em todos os pormenores, se revele a sua integração dentro do plano geral, leva-nos a concluir que a preparação para a Engenharia em escolas de finalidade diversa, representa, como não pode deixar de ser, uma diminuição de rendimento nos resultados obtidos.

---

(1) O problema já foi posto sensivelmente nos mesmos termos, por L. Alves, «Técnica», Maio de 1946.

(2) Vide, por exemplo, «Técnica», Abril de 1949, A organização do Curso de Química.

Uma vez organizada, com carácter de sistematização, a pesquisa na Universidade, o problema que aparece é o da regulamentação dos trabalhos pedidos pela Indústria e dos ensinamentos fornecidos pela Escola. Dentre os trabalhos executados, alguns de interesse e, portanto, de conhecimento geral, fariam parte de publicações periódicas dos centros de investigação universitários ligados à Indústria. Esta, por seu turno, procuraria compensar a Universidade, colaborando com ela, da maneira mais racional: não impedir, quando as circunstâncias o aconselhassem, a orientação dos seus investigadores e, de uma maneira geral, dos seus engenheiros, para o ensino. (Veja-se, por exemplo, o caso da I. C. I., que mantem esta orientação, apesar dos prejuízos acidentais que daí possam resultar).

. . . . . .

Lamentamos não poder conferir às notas anteriores outra autoridade que não seja a de referências particulares ou a verificação concreta, por vezes esbatida, de problemas nossos.

Na sua adaptação ao caso português dos pontos que procurámos despreocupadamente reavivar, tivemos presente a importância, talvez primária, que tem na realização, aquilo a que vulgarmente se chama «o factor humano na indústria» [1]. É em última análise, desse factor humano que depende a resolução de quase todos os problemas que hoje se põem com o objectivo último da elevação do nível geral, de que se não pode alhear uma maior dignificação de todos os que para ela concorrem.

Neste ponto, há que esperar em muitos casos um sacrifício de hábitos e de tendências. Duas destas haverá necessàriamente que corrigir: uma, a que na negação por sistema procura salvaguardar a responsabilidade na hipótese do fracasso de qualquer iniciativa; outra, a que, resultante da incapacidade do meio em fazer uma apreciação estatística dos factos, convida à posição cómoda de nada fazer para nunca errar.

Oxalá que no esforço a realizar encontremos o estímulo que a grandeza da tarefa exige. E que, nas dificuldades do caminho se procure, acima de tudo, o interesse da Nação.

---

(1) Eng. Araújo Correia, Ensaios de Economia Aplicada.

A Mecânica do Solo e as suas aplicações

PELO ENG.º CIVIL (U. P.) MANUEL PIMENTEL PEREIRA DOS SANTOS

Antigo Assistente da Faculdade de Ciências do Porto
Director do Laboratório de Ensaios de Materiais e Mecânica do Solo

(Continuação)

C. D. 624.131

CAPÍTULO III

Teoria e técnica dos ensaios

1 — Colheita de amostras

A base sobre que há-de assentar todo o valor dos resultados dos ensaios de Laboratório está na técnica da colheita de amostras. Estas tem que ser obtidas, tanto quanto possível, inalteradas, sem o que os dados resultantes de certos ensaios serão totalmente desprovidos de sentido. Só para alguns ensaios (granulometria, por exemplo) é que tal não é necessário.

A colheita pode ter lugar no fundo duma escavação ou por meio de sondagem.

Comecemos pelo primeiro caso — amostras colhidas em escavações superficiais.

A — Terrenos não coerentes:

Se se pretende apenas uma amostra, mesmo alterada, coloca-se uma porção de solo num recipiente, que se fecha. Estas amostras são suficientes para os ensaios químicos, peso específico e granulometria.

Para obter uma amostra inalterada, indispensável para conhecer o peso específico aparente, índice de vazios, permeabilidade, etc., tem que se usar um aparelho especial como o apresentado na figura 47 (Y. Poisson [45]).

É constituído por um cilindro de aço *O* de bordo inferior biselado, coberto superiormente por *A*, onde existem furos circulares *E*, e dotado duma haste resistente *H*. Enterra-se no solo com auxílio dum macaco, ou, na falta deste, batendo-o. Para manter a verticalidade pode usar-se um tubo-guia *D*. Procede-se até que o terreno encha completamente o cilindro. Nos ensaios abandonam-se as partes extremas de amostra assim obtida.

Enterrado o cilindro, liberta-se lateralmente, fecham-se as duas extremidades com tampas metálicas ajustáveis, e selam-se as juntas com papel parafinado colado. Tem-se o cuidado de marcar as indicações necessárias para identificação da amostra e sua localização.

B — Terrenos coerentes:

Interessam sobretudo amostras inalteradas. Procede-se como no caso anterior, ou então talha-se no próprio solo um cubo de cerca de 20×20 cm que se unta imediatamente com parafina fundida, mas sem o lavar nem escovar, nem tão pouco o mergulhar na parafina.

Se esta aderir mal, envolve-se a amostra prèviamente em tela ou papel forte, que se parafina em seguida. Esta precaução é indispensável também em terrenos fendilhados ou porosos, para impedir a penetração do unguento.

Examinemos agora a forma de efectuar a colheita por meio de sondagem.

A — Terrenos incoerentes:

Pràticamente é impossível obter amostras não alteradas. A colheita pode fazer-se utilizando injecções de consolidação ou congelação local, processos que evidentemente alteram a estrutura do solo.

Para amostras alteradas, colhem-se com os aparelhos vulgares de sondagem.

B — Terrenos coerentes:

Os processos que vamos descrever valem também para os terrenos pouco coerentes, como argilas muito arenosas e lodos.

As amostras alteradas obtêm-se pelos processos habituais de sondagens, mas devendo empregar-se o mínimo de agua possível.

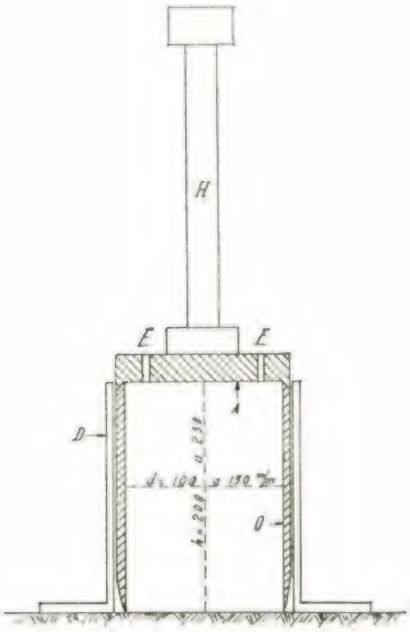


Fig. 47

(Y. Poisson [45])

Parafinam-se em seguida e introduzem-se num recipiente hermèticamente fechado.

As amostras não alteradas são obtidas conduzindo a sondagem até à profundidade desejada, e limpando o furo cuidadosamente para retirar os detritos da operação. Utilisa-se então um aparelho especial que pode ser o de Casagrande, mostrado na fig. 48.

Consta dum tubo cilíndrico *A*, de 0,50 m de comprimento, cujo diâmetro exterior *d* tão grande quanto possível, é escolhido de forma a permitir manejo fácil dentro do furo da sondagem. Na base desse tubo está aparafusado um bordo cortante *B*, e no extremo oposto existe uma haste roscada no qual se inserem os tubos de sonda.

O bordo biselado apresenta na sua face interna uma ranhura na qual se instala um anel formado por corda de piano de 0,5 mm de diâmetro, fixo aí por um pouco de argila. Os dois extremos lives dessa corda prolongam-se por uma outra ranhura *r*, esta existente no próprio tubo *A*, até se ligarem a um cabo de manobra *E* que sobe até à superfície do solo.

Na cabeça *C* existe um orifício no qual se insere um tubo de borracha flexível *F*, que vem igualmente à superfície do solo ligando-se a uma bomba de vazio. É necessário ter cuidado na ligação desse tubo de borracha e do cabo *E* ao tubo de sonda, de maneira que não haja atrito contra as paredes do furo, e que o anel não seja esticado prematuramente.

O aparelho é descido no furo da sonda, cuidadosamente, tendo a precaução de ajustar o tubo de borracha de forma a evitar a expulsão do ar e consequente entrada de água. O bordo biselado deve entrar 3 a 4 cm no fundo da sondagem; conseguido isto aspira-se com a bomba o ar contido no aparelho.

Com auxílio dum macaco ou batendo, enterra-se totalmente o aparelho no solo do fundo, continuando a proceder-se à aspiração do ar.

Depois de enterrar 40 a 45 cm puxa-se o cabo *E* de 50 cm, cortando assim inferiormente a amostra, sobe-se o aparelho, mantendo sempre a aspiração do ar.

Desaparafusa-se o bordo *B* e a cabeça *C*, e extrai-se a amostra por pressão, parafinando-a e embalando-a com as precauções usuais. Também se pode deixar no tubo *G*, parafinando-se então nesse caso apenas as extremidades.

2 — Indicações referentes às amostras

Para cada amostra deve anotar-se:

a) o número dela
b) o número da sondagem ou da escavação
c) a data
d) o modo de colheita (alterada, parcialmente alterada, ou inalterada)
e) o ponto de colheita
f) a profundidade
g) a natureza do terreno

h) a possança da camada à qual pertence a amostra
i) condições atmosféricas
j) o nível hidrostático.

Se a colheita se fez em sondagem, é conveniente juntar um corte com a posição do nível hidrostático, importância da subida ou descida deste.

3 — Preparação de amostras

Certos ensaios, em que não é necessário operar com amostras inalteradas, requerem uma preparação prévia, de forma a obter-se um valor médio da propriedade em estudo.

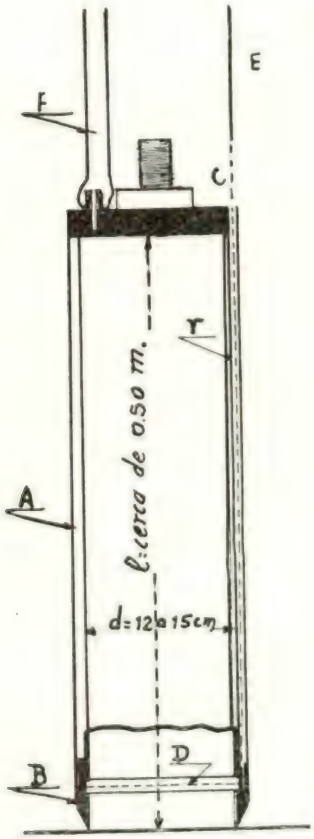


Fig. 48

(Y. Poisson [45])

Começa por secar-se a amostra num forno, a temperatura não superior a 105° C, passando-se em seguida pelo *aparelho repartidor,* que não é mais do que uma espécie de crivo de malha rectangular, de dimensões mínimas de 25 mm, por onde se faz passar o solo, que se recolhe em duas caixas rectangulares. O material coloca-se de modo a não haver obstruções, esmagando os torrões retidos e colocando as pedras (que não se devem partir) alternadamente numa e noutra das caixas. O solo espalha-se tanto quanto possível com uniformidade no repartidor, de modo a que as camadas nas caixas sejam também sensìvelmente uniformes.

Para formar uma amostra com o peso desejado, deposita-se o solo em forma tronco-cónica, e divide-se em 4 partes (Fig. 49).

Retiram-se duas partes opostas, e com elas repetem-se as operações — tantas vezes quantas as necessárias para que a amostra obtida tenha o peso desejado.

Se existe uma grande percentagem de material que não passa no repartidor, pode-se começar por fazer uma primeira separação com um crivo, e preparar uma amostra média deste material mais grosso pelo método anterior. A fig. 50 dá um detalhe das tremonhas do aparelho repartidor.

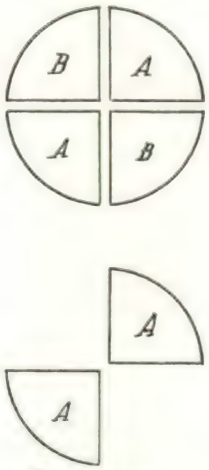


Fig. 49

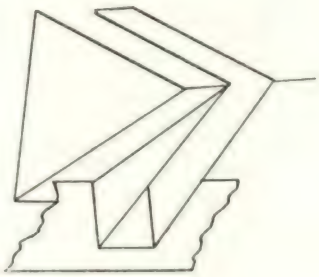


Fig. 50

4 — Compacidade

A avaliação da compacidade dum solo faz-se através dos seguintes ensaios:

a) Densidade real

b) Densidade aparente
c) Grau de humidade
d) Índice de vazios.

Estudemos separadamente cada um deles.

5 — Densidade real

A aparelhagem necessária para o traçado da curva de aferição consiste num frasco graduado para 500 cm³, um termómetro graduado em décimas de grau, com divisões de 0° a 50° C, uma balança sensível ao centigrama, uma pipeta e água distilada.

O método utilizado é o do picnómetro [4].

É necessário em primeiro lugar e de uma vez para sempre traçar a citada curva de aferição do picnómetro em função da temperatura, pois é sabido que tanto o volume do frasco como a densidade da água variam com aquela.

Para isso determinamos:

a) *O peso do frasco* — P — que deve ser obtido a seco e a menos de 0,01 grama. O frasco é prèviamente passado por água quente distilada, ficando bem limpo, colocando-se durante meia hora no forno eléctrico; deixa-se depois arrefecer no exsicador.

b) *O peso do frasco cheio com água* — P_1 — à temperatura T_1 do laboratório, tomado como média de cinco determinações. O enchimento do frasco com água deve fazer-se cautelosamente, sendo a pipeta útil para fazer a coincidência da base do menisco com a marca do gargalo do frasco. Verifica-se se o frasco está bem seco na parte exterior e interiormente acima da marca e pesa-se a menos de 0,01 gr. Logo depois de pesar, mergulha-se o termómetro até meia altura do frasco e anota-se a temperatura a menos de 0,1°. Repete-se esta série de operações cinco vezes e tiram-se as médias de P_1 e T_1.

c) *O coeficiente de dilatação cúbica* do frasco γ. Coloca-se o frasco cheio com água até aproximadamente à marca num banho a uma temperatura T_2 pelo menos 10° C. superior a T_1. Logo que se dê o equilíbrio de temperaturas, ajusta-se o nível da água com a marca, mede-se a temperatura T'_2 de equilíbrio, seca-se no exterior, e internamente na parte superior à marca, e detemina-se o peso P'_1. Repetem-se as operações pelo menos 3 vezes. Obtém-se como média o coeficiente de dilatação cúbica:

$$\gamma = \frac{1}{T'_2 - T_1} \cdot \frac{d_1}{d_2} \cdot \frac{P'_1 - P_1}{P_1 - P} \quad . \; . \; (59)$$

sendo d_1 e d_2 respectivamente as densidades da água às temperaturas T_1 e T'_2.

A fórmula (59) compreende-se sem dificuldade se lhe dermos a forma:

$$\gamma = \frac{1}{T'_1 - T_2} \cdot \frac{\dfrac{P'_1 - P_1}{d_2}}{\dfrac{P_1 - P}{d_1}} \quad . \; . \; . \; (60)$$

O numerador da segunda fracção representa o aumento de volume do frasco (medido por meio de água); o denominador representa o volume inicial; dividindo por $T'_2 - T_1$ temos a dilatação por unidade de volume e grau de temperatura.

d) *Os pesos do frasco cheio de água* — P_T — a diferentes temperaturas T.

É com esses elementos que se traça a curva de aferição procurada. O peso P_T exprime-se em função dos dados anteriormente conhecidos pela expressão:

$$P_T = P + (P_1 - P)\,\frac{d_{T_r}}{d_1}\left[1 + \gamma(T - T_1)\right] \quad (61)$$

em que o segundo termo representa, obviamente, a variação, para a temperatura estudada, do peso dum volume de água igual ao volume inicial do frasco.

Conhecida a curva de aferição, podemos determinar a densidade real duma amostra de solo.

A aparelhagem necessária consiste, além da utilizada anteriormente, em uma bomba de jacto de água, um funil de vidro, água distilada, dispersador mecânico ou almofariz com mão revestida a borracha, cápsulas para evaporação (diâmetros 210 mm e 120 mm) e uma espátula.

O ensaio é conduzido de maneira diferente conforme a natureza do solo.

Para *solos incoerentes secos no forno* procede-se da seguinte maneira:

a) Pesam-se cerca de 80 gr de solo seco no forno, a menos de 0,01 gr e anota-se o peso *S*.

b) Introduz-se a amostra no frasco calibrado, com ajuda dum funil, e enche-se aquele de água distilada até meio. Aplica-se o vácuo ao frasco por meio da bomba de jacto de água para remover o ar contido na amostra. Geralmente bastam 15 minutos, sendo o processo auxiliado fazendo rolar lentamente o frasco de vez em quando.

c) Junta-se depois água distilada, com cautela, de modo que o nível de suspensão fique na base do gargalo. Aplica-se novamente o vácuo. Se o ar tiver sido todo extraído, o nível não sofrerá alteração notável, mesmo que se dê ebulição. Mas subirá de forma apreciável se ainda existir ar; então é necessário repetir-se toda a série de operações.

Contudo pode acontecer que não consigamos remover o ar. É sinal quase certo da presença de matéria orgânica, que também pode ser assinalada pelo cheiro, ou pela formação duma membrana escura e oleosa, quando se mistura o solo com um pouco de água. Para expulsar o ar será necessário ferver a suspensão num banho de glicerina durante 30 minutos, juntando de vez em quando cuidadosamente água distilada suficiente para manter o frasco meio cheio.

Deixa-se arrefecer, até à temperatura do solo, juntando-se então a água distilada até à base do gargalo.

d) Estabelecida a coincidência do nível da base do menisco com a marca existente no gargalo do frasco, e verificando que este está seco no exterior e na parte interior acima da marca, pesa-se a menos de 0,01 gr obtendo o peso P_2. Logo após a pesagem, determina-se a temperatura, como foi explicado, e a menos de 0,1° C.

Temos

$$D = \frac{S}{S - (P_2 - P_1)} \quad . \; . \; . \; . \quad (62)$$

ou seja

$$D = \frac{\text{peso do solo seco no frasco}}{\text{(peso do solo seco no frasco + peso do frasco e água} - \text{peso do frasco, água e solo)}}.$$

O denominador representa evidentemente o peso da água deslocada pelo solo.

O peso P_1 do frasco e água, à temperatura da experiência tira-se da curva de aferição.

Note-se que existe uma causa de erro no facto de a água à qual se refere a densidade ser a correspondente à da temperatura do laboratório, para a qual se traçou a curva de aferição. Esse erro manifesta-se pelo facto do denominador de (62) representar o volume de água deslocada à temperatura do laboratório, e não a 4° C. O erro resultante para o valor da densidade é da ordem de 0,002, portanto desprezável nos ensaios habituais. De resto, para o corrigir, basta multiplicar pela densidade da água à temperatura da aferição.

No caso de *solos coerentes* a marcha das operações é diferente.

a) Pesa-se uma amostra de solo de cerca de 80 gr devendo tomar-se em conta a percentagem de humidade.

b) Coloca-se a amostra numa cápsula, misturando-se com água até formar uma pasta mole.

c) Leva-se ao dispersador mecânico, juntando água suficiente para formar 250 cm^3 de suspensão e agita-se durante 15 minutos.

Se não se dispuzer do dispersador, coloca-se a pasta numa cápsula de evaporação de 12 cm de diâmetro e juntam-se 250 cm^3 de água distilada. Trabalha-se a mistura durante 5 minutos no almofariz, e transfere-se a suspensão assim obtida para o frasco. Juntam-se mais 200 cm^3 de água na cápsula e repete-se a operação, mas tendo o cuidado de na transferência para o frasco não fique qualquer parcela sólida na cápsula. Se tal acontecer, deve ser arrastada para o frasco com o jacto de água distilada duma garrafa de sifão. Procede-se depois como nas alíneas *b*) a *d*) do ensaio anterior.

d) Passa-se todo o conteúdo do frasco para uma cápsula evaporadora suficientemente grande e seca-se à temperatura de

105° C para obter o peso do solo seco S. Não se deve secar por menos de 12 horas.

e) Determina-se a densidade pela fórmula (62). Deve-se ter o máximo cuidado na remoção do ar.

Nas folhas onde se anotam os ensaios deve incluir-se a descrição da amostra.

Para ensaios menos rigorosos — o anterior dá três algarismos exactos — pode utilizar-se um picnómetro [2] formado por um frasco de 1 litro de capacidade, tapado com uma peça cónica de metal com um furo de 1/4′ no topo (fig. 51). Essa peça deve ser bem atarrachada ao frasco, inserindo-se se for necessário uma junta de borracha. Um frasco de compota de 2 libras pode servir. É necessário ainda uma balança sensível ao decigrama e um termómetro.

Deve existir uma marca de correspondência entre a peça superior e o frasco, de forma que o grau de aperto seja sempre o mesmo, para que o volume não sofra variação nas diferentes leituras.

Enche-se o picnómetro com água até ao topo da peça cónica, ficando a água razando o furo. Enxuga-se a parte exterior e pesa-se (peso P_1). Toma-se nota da temperatura T da água. Seca-se a amostra e pesam-se cerca de 1.000 gr (s) do material seco. Enche-se o picnómetro com água até cerca de 1/3 da sua capacidade, e deita-se dentro o solo, juntando a água necessária para ter o material completamente saturado. Enche-se em seguida até ao orifício tendo o cuidado de eliminar as bolhas de ar batendo com os dedos no frasco. Facilita-se essa eliminação juntando água a mais no recipiente antes de atarrachar a peça superior, e o enchimento desta pode ser feito com tubo de borracha, funil etc. Enxuga-se o picnómetro e pesa-se (peso P_2). A temperatura da água não deve agora diferir da anteriormente medida mais do que 2° C.

A densidade é dada pela fórmula (62).

6 — Grau de humidade

Existem variados processos de determinação. Indicaremos ràpidamente os mais seguidos.

a) *Exsicação:* utilizam-se vidros de relógio (taradós e numerados), forno eléctrico com termóstato, capaz de manter uma temperatura constante de 105° C (podendo ser substituído em trabalhos de campo por um forno a butana; exsicador com cloreto de cálcio desidratado; balança sensível ao mgr.

Procede-se pesando a amostra antes e depois de seca no forno a 105° C.

b) *Picnómetro:* utilizando o picnómetro de litro há pouco descrito, pode também determinar-se o grau de humidade, desde que se conheça a densidade real. Será

$$W = \frac{100\,S\,(D-1)}{(P_3-P_1)\,D} - 100 \quad . \; . \; (63)$$

sendo P_3 o peso do picnómetro com a amostra cheio de água até ao orifício e s o peso da amostra *húmida* utilizada (cerca de 1000 gr).

A fórmula não necessita justificação.

a) *Método eléctrico:* fazendo passar uma corrente eléctrica de voltagem constante (90 v.) por uma amostra de solo, a leitura

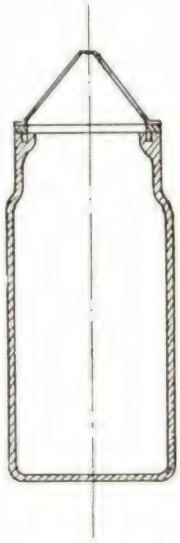


Fig. 51

(Sparker e Smith [2] pág. 37)

da intensidade permite determinar numa curva de aferição o grau de humidade. A fig. 52 dá a montagem realizada e a curva de aferição resultante num caso estudado.

É necessário notar que a condutibilidade do solo não depende sòmente da humidade,

mas também do estado de consolidação, da temperatura do solo, da granulometria e da natureza da água intersticial.

d) *Método expedito:* Utiliza-se o aparelho mostrado na figura 53, construído de alumínio. Colocam-se cerca de 150 gr. de amostra no recipiente perfurado, cuja tara se conhece, pesando-se o conjunto para ter o peso do solo. Queimam-se inferiormente 50 cm^3 de álcool, secando-se a amostra e pesando-se novamente.

7 — Índice de vazios

Pode conhecer-se se tivermos os valores das densidades real e aparente. Ou pode-se proceder de forma directa.

Utilizamos a mesma aparelhagem que no caso anterior, alínea *a*) convindo dispor ainda dum cilindro ôco de bordos cortantes, para solos incoerentes.

Temos a distinguir dois casos.

A) *Solos coerentes*

Se a amostra está saturada, o grau de humidade dá o volume, donde se deduz como vimos o respectivo índice.

Se a amostra estiver parcialmente saturada, teremos três fases em presença: solo, ar e água.

Pesando a substância seca P_s e sendo W o grau de humidade, o volume da água será

$$V_a = W \cdot P_s$$

Mas o volume da substância seca é

$$V_s = \frac{P_s}{D}$$

Se fôr V o volume total da amostra, o volume de ar será

$$V_{ar} = V - V_a - V_s$$

donde o índice de vazios

$$e = \frac{\text{volume de vazios}}{\text{volume de sólidos}} = \frac{V_a + V_{ar}}{V_s}$$

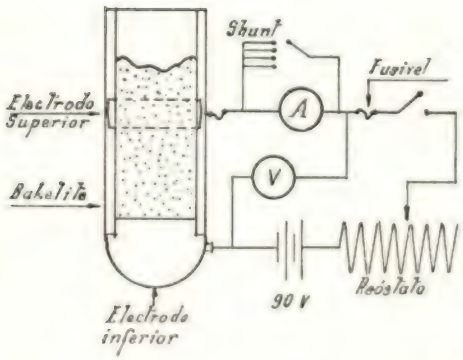
B) *Solos incoerentes*

Toma-se uma amostra não alterada e determina-se utilizando o cilindro citado:

o volume V do cilindro
o peso P_s da amostra seca
a densidade real D

É

$$e = \frac{V - V_s}{V_s} = \frac{V - \frac{P_s}{D}}{\frac{P_s}{D}} = \frac{V\,D - P_s}{P_s}$$



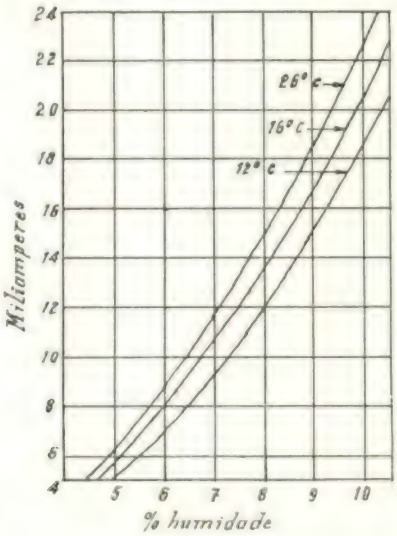


Fig. 52

(Navarro e Aracil [6] pág. 938)

8 — Exemplo

Dos ensaios duma amostra de solo em estado natural obtiveram-se os seguintes dados: volume 887 cm³, peso 1,541 gr.

No estado seco e pulverulento, o volume é de 632 cm³, e o peso é de 1.311 gr.

O peso do picnómetro com água é de 663,23 gr, o peso do picnómetro com solo e água 687,29 gr e o peso do picnómetro com o solo 40 gr.

Determinar o peso específico e índice de vazios.

Segundo a expressão (62), sendo

$$P_1 = 663{,}23 \text{ gr}$$
$$P_2 = 687{,}29 \text{ gr}$$
$$S = 40 \text{ gr}$$

resulta:

$$D = \frac{40}{40 + 663{,}23 - 687{,}29} = 2{,}51 \quad (73)$$

Segundo a definição de índice de vazios, e sendo o volume de sólidos

$$V_2 = \frac{S}{D} = \frac{1.311}{2{,}51} = 522{,}31 \text{ cm}^3$$

e o volume de vazios

$$V_1 = 887 - 522{,}31 = 364{,}69 \text{ cm}^3$$

Tem-se

$$e = \frac{V_1}{V_2} = \frac{364{,}69}{522{,}31} = 0{,}7 = 70\ \%$$

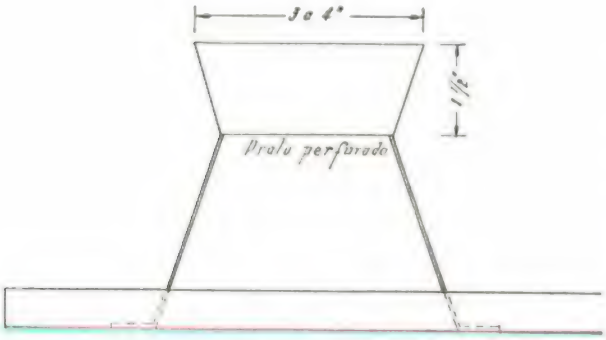


Fig. 53

(Diversos [4] pág. 95)

9 — Densidade aparente

Já dissemos que pode ser determinada a partir da densidade real e do índice de vazios. Existem contudo diferentes processos directos.

Assim para uma amostra de forma irregular, a maneira mais cómoda de proceder é determinar o volume calculando o mercúrio desalojado numa vasilha especial, (fig. 54).

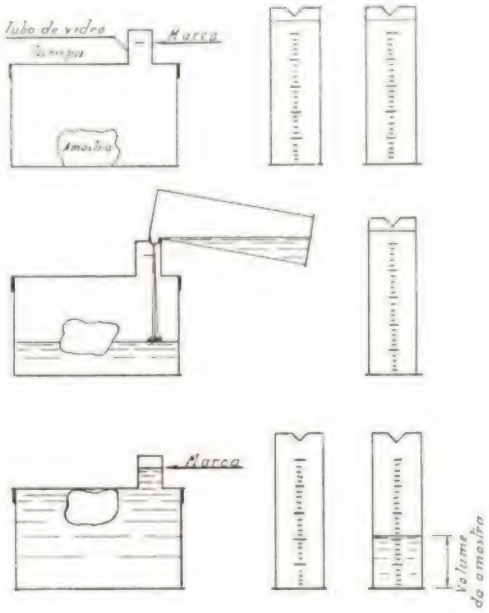


Fig. 54

(Navarro e Aracil [6] pág. 937)

As duas provetas têm em conjunto uma capacidade igual à da vasilha; colocando nesta a amostra, e enchendo até à marca, o mercúrio que sobra mede o volume procurado.

Os processos mais geralmente usados, sobretudo no campo, são os seguintes:

Para *solos finamente granulados,* coerentes e não muito duros, corta-se com um cilindro de aço com um bordo biselado [4] (5′ de comprimento e 4″ de diâmetro interior) uma amostra; mede-se o volume e pesa-se numa balança sensível ao grama e pesando até 7 kgr.

Para *solos duros* ou contendo percentagem apreciável de elementos grossos, utiliza-se o *método da garrafa de areia* 4.

O aparelho consiste num frasco de 7 libras ao qual se ajusta uma cabeça cónica munida de funil e torneira, fig. 55. Esse frasco contém areia seca de densidade aparente conhecida, bem limpa, passando no crivo 14 B. S. e retido no n.º 25.

Começa-se por limpar e nivelar uma área de solo de cerca de 30 cm². Escava-se no solo um buraco redondo com 4″ de diâmetro e 4″ de profundidade, recolhendo-se e pesando-se o material retirado e guardando-se uma amostra para determinação do grau de humidade no Laboratório.

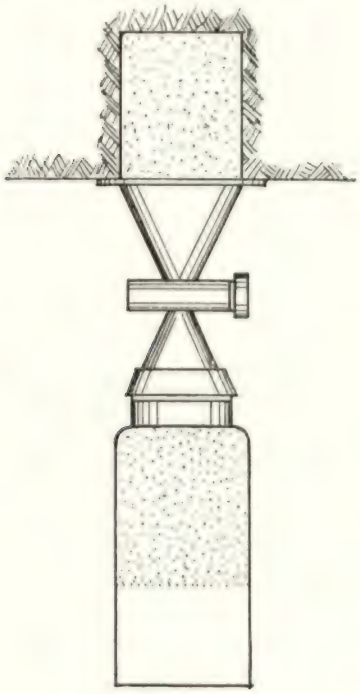


Fig. 55

(Diversos [4] pág. 131)

Depois de se pesar o aparelho, coloca-se este invertido de modo que a base do funil cubra o buraco no solo. Abre-se a torneira e a partir de certa altura, quando se deixa de notar movimento na areia do frasco, fecha-se, retira-se o aparelho e pesa-se de novo.

A diferença de pesos dá o peso de areia que ocupa o buraco, uma vez descontada o da areia dentro do funil, determinado separadamente por inversão sobre uma placa plana.

Desde que conheçamos a densidade aparente da areia, temos o volume do buraco; como dispomos do peso do solo que de lá retirámos, o cálculo da densidade aparente húmida δ_H é imediato. E a *densidade aparente a seco* será

$$\delta_s = \frac{\delta_H}{1 + W}$$

É necessário conhecer a densidade aparente da areia utilizada. Para isso toma-se um recipiente, limpa-se e pesa-se vazio. Determina-se a sua capacidade pesando-o cheio de água; seca-se em seguida, enche-se com areia e pesa-se de novo.

A densidade procurada será

$$\delta_a = \frac{\text{peso da areia}}{\text{volume da areia} = \text{capacidade}}$$

10 — Ensaio de compactação

O aparelho de Proctor fornece um meio simples para o estudo da influência do grau de humidade sobre a compacidade das terras, e para o controle da compactação no campo.

O aparelho de Proctor (fig. 56) consta dum molde cilíndrico de metal, com cerca de 10 cm de diâmetro e 32,5 cm de altura, colocado sobre um pedestal e ligado a este por uns grampos basculantes que entram numas aletas do cilindro. Sobre este coloca-se uma extensão, análoga em tudo, unida da mesma forma e com cerca de 6 cm de altura. Existe ainda um martelo B. de 2,5 kg de peso, e 5 cm de diâmetro na base, deslizando dentro duma guia cilíndrica E, com disposição para evitar a frenagem do maço pelo ar. São necessárias também 2 balanças, uma pesando até 7 kg com sensibilidade de 1 gr e outra até 100 gr com sensibilidade de 0,1 gr

Vejamos o modo de operar [4].

Tomam-se cerca de 3 kg do solo a estudar, secam-se no forno a 105° C e passam-se no crivo de 3/16″. Extrai-se deste material uma amostra, devidamente misturada e à qual se juntou determinada percentagem de água que dê regular plasticidade e em

seguida compacta-se no cilindro (com a extensão ajustada), em três camadas iguais, sendo cada uma delas apiloada com 25 pancadas do martelo caindo duma altura exacta

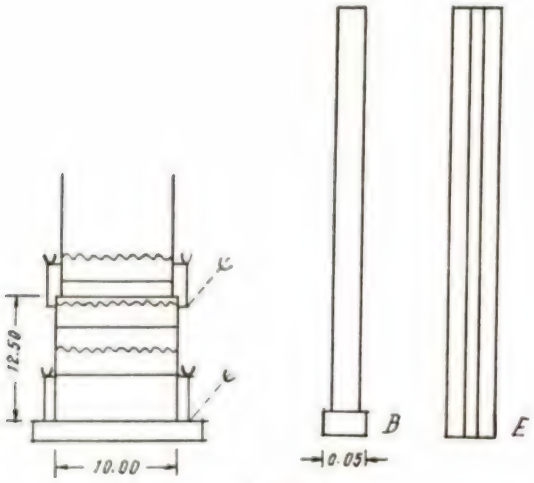


Fig. 56

de 30 cm. Remove-se a extensão e nivela-se a camada superior da terra no molde, com um gume recto. Pesando a terra e o molde e deduzindo o peso deste tem-se a densidade aparente para o grau de humidade considerado — que se determina sobre uma pequena amostra do solo extraído do molde.

O resto do solo é misturado a seco e repete-se a operação para uma nova percentagem de humidade, cerca de 2 % inferior, e assim sucessivamente até que comece a haver decréscimo nos valores da densidade.

A densidade aparente a seco — δ_s — é deduzida da densidade húmida pela fórmula

$$\delta_s = \frac{\delta_H}{1 + W}$$

Traçam-se as curvas das densidades e delas se deduzem o *máximo da densidade a seco e o grau de humidade óptimo* (correspondente ao máximo de densidade a seco e ao mínimo da porosidade). A figura 57 mostra essas curvas e a da porosidade.

Sob o ponto de vista teórico, a explicação do andamento destas curvas não oferece dificuldades.

A densidade aparente será, com efeito, tanto maior quanto mais *arrumadas* estejam as partículas do solo, de forma a assegurar o mínimo volume de vazios.

O apiloamento provoca justamente essa concentração de partículas, vencendo a resistência capilar e a de atrito, que diminuem com o grau de humidade (por abaixamento da tensão capilar e efeito lubrificante).

Consequentemente à medida que vamos aumentando o grau de humidade, cresce paralelamente a densidade aparente. Mas tal aumento tem um limite, em que a água ocupa pràticamente todos os vazios e não permite, pela sua incompressibilidade, a redução de volume pelo apiloamento. A partir desse limite, um aumento da percentagem de água provoca um aumento de volume, donde uma diminuição da densidade aparente.

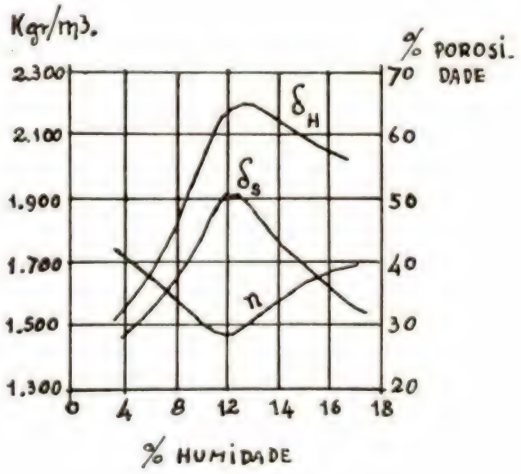


Fig 57

(Navarro e Aracil [6] pág. 941)

Se existem materiais de diâmetro superior a 3/16″, é necessário corrigir os resultados obtidos.

Se for

x = percentagem do material inferior a 3/16″
y = » » superior » 3/16″
γ = densidade das partículas

tem-se

$$y = \frac{100 . x}{100 - x}$$

volume do material grosso *correspondente ao peso 100 do solo fino seco:* $\frac{y}{\gamma}$

$$\text{volume de finos } \frac{100}{\delta_s}$$

$$\text{volume total } \frac{y}{\gamma} + \frac{100}{\delta_s}$$

$$\text{peso total } 100\left(1 + \frac{y}{100}\right)$$

densidade corrigida

$$\delta_s = \frac{100(1 + y/100)}{(y/\gamma + 100/\delta_s} = \delta_s \frac{1 + y/100}{1 + \frac{y}{100\gamma}\delta_s}$$

Se for W_m o grau óptimo de humidade para finos, o valor respectivo corrigido será:

$$W'_m = \frac{W}{1 + \frac{y}{100}}$$

Estes cálculos supõem que os vazios no material grosso estão completamente preenchidos com finos à máxima densidade.

11 — Ensaios de estrutura

A medida, ou melhor, a avaliação da maneira como se dispõem os grãos que constituem o solo faz-se por meio do *ensaio de penetração,* que nos dá indicações também sobre o grau de humidade e estado de consolidação do terreno.

Para o mesmo grau de humidade a resistência à penetração aumenta à medida que é maior a densidade aparente.

Os ensaios fazem-se com *penetrómetros* de que há variadíssimos tipos.

O *penetrómetro de esferas* baseia-se na impressão deixada no solo por uma esfera caindo de determinada altura. No de *Housel* utiliza-se a penetração dum cilindro sob as pancadas dum macaco.

Um dos mais utilizados é o de *Olson,* que ao contrário dos anteriores é manual em vez de mecânico. Introduz-se no solo um cone metálico de 60° de abertura até à profundidade de 10 mm e mede-se no aparelho a pressão necessária para obter essa penetração. Em terrenos duros toma-se um cone de abertura de 30°.

O *penetrómetro de Proctor* (agulha de plasticidade de Proctor), é semelhante ao de Olson, mas na base atarracham-se placas circulares com áreas diversas. Devem introduzir-se no solo com velocidade uniforme durante 6 segundos de maneira a penetrarem 76 mm.

A resistência à penetração obtém-se dividindo o esforço pela área da placa utilizada.

A fig. 58 mostra, em escala logarítmica

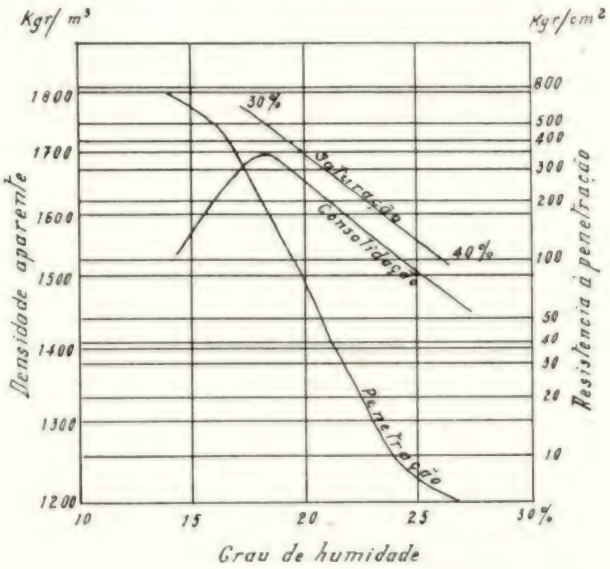


Fig. 58

de ordenadas, as curvas de consolidação, saturação e penetração.

A curva de saturação corresponde ao completo preenchimento dos vazios por água; as percentagens marcadas junto a ela indicam porosidades.

A humidade óptima de consolidação corresponde neste caso a 18 %.

O controle da construção faz-se, segundo Proctor, determinando no Laboratório as curvas da fig. 58 para o material utilizado; e no campo, determinando as resistências à penetração no solo e no cilindro.

A resistência no terreno deve ser superior a 75 % da achada no cilindro.

Os ensaios de penetração feitos em profundidade podem ser muito úteis para se ajuizar das condições de resistência do solo para fundações em estacarias.

Certos penetrómetros permitem transmitir a força exercida por um macaco hidráulico quer sobre o tubo qoe envolve a haste do cone, quer directamente sobre esta. Enquanto no primeiro caso se avaliam (pela medida da força) a resistência simultânea ao atrito e ao afundamento do cone, no segundo só esta última entra em jogo.

Assim temos a diversas profundidades a resistência à penetração do cone e a resistência total à penetração — e, por diferença, a resistência de atrito ao longo do tubo.

A fig. 59 mostra os resultados dos ensaios de penetração executados nesta ordem de ideias.

12 — Análise mecânica

Consiste, como se sabe, na determinação da forma de distribuição das partículas dum solo pelos diferentes tamanhos. Faz-se por dois processos: crivagem, para material retido no crivo N.º 200 B. S. ou por sedimentação, para material de tamanho inferior àquela.

A — *Crivagem*

A equivalência entre os crivos B. S. e A. S. T. M. é a seguinte:

Crivos B. S.	1 1/2″	3/4″	3/8″	N.º 7	14	25	52	100	200
Crivos A. S. T. M.	1 1/2″	3/4″	3/8″	8	16	30	50	100	200

A aparelhagem necessária é a seguinte:

Crivos B. S. acima citados.

Recipientes e tampas para crivos: 18″, 12″, 8″

Tina metálica quadrada com cerca de 75 cm de lado e 7,5 cm de fundo

Aparelho repartidor e caixas

Tinas de ferro galvanizado, redondas, de 20 a 30 cm de diâmetro, para secagem de amostras

Forno de secagem, com controle termostático para dar 100 a 110° C.

Colher metálica

Uma escova rija para limpeza de crivos

Uma escova branda para limpeza dos crivos muito finos

Balança pesando até 10 kg sensível ao grama

Balança pesando até 500 gr sensível ao 0,1 grama

Almofariz e respectiva mão

Vejamos como se procede [4].

Começa-se por se preparar uma amostra representativa do material a estudar, utilizando o aparelho repartidor como já foi ensinado. Conforme a natureza do solo assim a amostra colhida no local e a preparada para o ensaio devem ter certos tamanhos.

Aproximadamente podemos regular-nos pelo quadro seguinte:

Tamanho das maiores partículas presentes no solo	Peso da amostra a colher no campo	Peso da amostra a ser ensaiada
Maior do que 3/4″	25,000 kg	10,000 kg
3/4 ″	12,500 »	5,000 »
3/8 ″	6,000 »	1,000 »
3/16″	3,000 »	0,200 »
Areia grossa (passando toda no crivo N.º 7)	1,000 »	0,100 »
Areia fina, lodo, etc. (todas passando no crivo N.º 52) . . .	0,700 »	0,050 »

Isto é motivado pelo facto de em cada ensaio serem precisas as mesmas quantidades de «finos»; por isso recorre-se a maiores amostras dos materiais grossos.

Note-se que no caso de existirem alguns calhaus, podemos ser levados a utilizar uma amostra muito grande para os crivos mais pequenos. É conveniente então, antes de utilizar estes, proceder à redução do tamanho da amostra em ensaio, dedução essa feita

pelos métodos já explicados, depois do material passar pelos crivos grossos. (até 3/16″ ou N.º 7)

Após a *preparação* da amostra, procede-se à sua *secagem* em tinas de ferro, galvanizado, levadas a um forno à temperatura de 100 — 110° C, durante 4 horas (amostras mais pequenas) até 16 (amostras maiores). Deve ter-se o máximo cuidado em não deixar queimar o solo durante a secagem.

Procede-se em seguida à *crivagem,* depois da amostra seca ter sido reduzida ao peso conveniente. Pode acontecer, sobretudo se houver presença de argila, que se dê formação de conglomerados de grãos. Estes devem ser desfeitos no almofariz, tendo a precaução de não partir os grãos elementares do solo. Só depois disso é que se pesa a amostra.

A presença de argila é conhecida humedecendo o material e rolando entre os dedos; o material torna-se macio. Para a remoção da argila é então preciso lançar mão da crivagem com material humido.

Para isso coloca-se a amostra numa tina (ou em várias) cuja capacidade permita cobrir o material de água e dispersar de forma a que a argila fique em suspensão.

Lava-se então a amosta em água limpa e decanta-se através dum crivo n.º 200 (protegido superiormente com um n.º 14) até que a água da lavagem saia limpa.

Junta-se à amostra o material retido nos dois crivos, seca-se durante o mesmo tempo que antes da lavagem e pesa-se. A perda de peso deve adicionar-se então ao peso que passar no crivo n.º 200 no ensaio a seco que vamos descrever.

A *crivagem em seco* não oferece dificuldades de maior. O material vai sendo obrigado a passar dos crivos mais grossos para os mais finos, agitando-os manual ou mecânicamente. Enquanto no crivo de 1 1/2″ as pedras retidas são experimentadas a ver se passam a malha, nos seguintes, depois de agitados alguns segundos, sacodem-se durante 2 minutos sobre uma tina larga; o material que porventura ainda passar é lançado no crivo seguinte da série. O material retido é pesado *imediatamente* após esses 2 minutos.

Uma observação importante que se deve ter presente é que cada crivo tem a sua carga de segurança que não pode ser excedida; se o for, a crivagem não merece confiança e deve ser repetida pelo que diz respeito ao crivo em dúvida tomando metade do material de cada vez e sacudindo 2 minutos. As cargas de seguarança para os diferentes crivos são:

3/4 ″	3.000	gramas
3/8 ″	600	»
3/16″	400	»
N.º 7	150	»
» 14	100	»
» 25	70	»
» 52	50	»
» 100	35	»
» 200	25	»

Se no crivo n.º 7 passarem muito mais de 100 gramas, deve proceder-se ao ajustamento da amostra até dar aproximadamente esse peso, corrigindo-se os cálculos de acordo com isso.

Não esquecer que ao peso que passa o crivo N.º 200 se deve juntar o da argila removida na *crivagem húmida.*

A *limpeza* dos crivos deve merecer especiais cuidados. O material apertado entre as malhas considera-se retido no crivo e deve ser retirado sem forçar a malha.

Um prego de arame de 2″ pode auxiliar a limpeza do crivo de 3/16″ e do N.º 7. Para os N.os 14, 25 e 52 deve usar-se uma escova dura, e para os restantes uma escova branda, preferìvelmente de pêlo de camelo.

B — *Sedimentação*

A granulometria do material que passa no crivo n.º 200 é determinada por sedimentação, recorrendo à conhecida lei de Stokes.

Para as aplicações é cómoda a forma já citada em (1)

$$\sqrt{\frac{1800\,\eta}{\gamma-\gamma_0}\cdot\frac{H}{T}}$$

em que, como vimos

d = diâmetro dos grãos em m/m
γ = peso específico dos grãos em gr/cm³
γ_0 = peso específico do líquido em gr/cm³
η = viscosidade do líquido em gr seg/cm²
H = altura da decantação em cm
T = tempo em segundos

H/T representa portanto a velocidade de assentamentos.

Para grãos de diâmetros superiores a 0,2 m/m e inferiores a 0,0002 m/m a lei cessa de ser aplicável (sendo a água o líquido utilizado), em virtude respectivamente da velocidade variável do assentamento, ou da formação de suspensões coloidais.

A expressão obtida resulta de igualar a força que tende a causar o assentamento dos grãos supostos esféricos

$$\frac{4}{3}\pi\left(\frac{d}{2}\right)^3 g\,(\gamma-\gamma_0)$$

à resistência oferecida pelo líquido, dependente da sua viscosidade

$$6\,\pi\,\eta\,g\,\frac{d}{2}\,v$$

sendo v a velocidade de assentamento; resolvendo em ordem a esta vem a forma habitual

$$v=\frac{2}{9}\,\frac{\gamma-\gamma_0}{\eta}\left(\frac{d}{2}\right)^2$$

da qual se passa de forma simples à anteriormente citada, mais cómoda para as aplicações.

Uma maneira fácil [4] de compreender o mecanismo em que assentam os métodos práticos que vamos estudar consiste em supor uma suspensão em que existam diversos tamanhos de grãos $d_1 > d_2 > d_3 > d_4 > d_5$, etc. A cada diâmetro corresponde portanto a sua velocidade de assentamento v_1, v_2, v_3, v_4, v_5 ..... etc.

Suponhamos que cada grupo de grãos com o mesmo diâmetro se coloca numa mesma coluna vertical dentro da suspensão (fig. 60). No começo do ensaio a distribuição dos diferentes tamanhos faz-se uniformemente — em qualquer ponto da suspensão é a mesma a concentração de partículas *dum determinado diâmetro* (o que não quer dizer que sejam idênticas as concentrações de partículas de todos os tamanhos).

Decorrido o tempo t, as partículas de maior diâmetro assentaram mais do que as outras; acima do nível H_1 não há nenhuma partícula de diâmetro d_1; mas existem outras de diâmetros d_2, d_3, d_4 e d_5 *com a mesma concentração destes tamanhos que existia no princípio da experiência.*

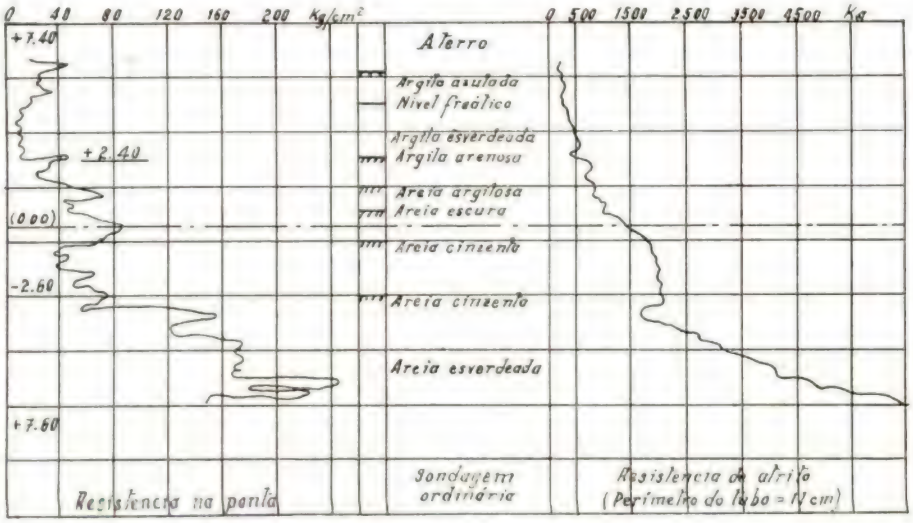


Fig. 59
(E. E. de Beer [44])

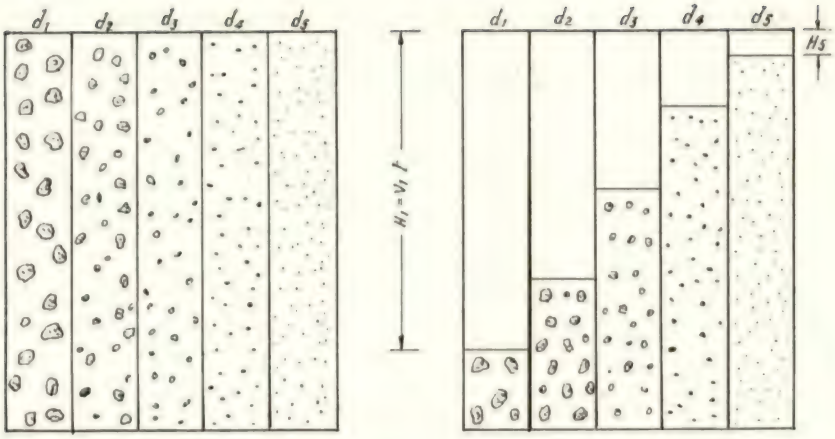


Fig. 60

A aplicação da lei de Stokes pressupõe a aceitação das hipóteses seguintes, que na realidade se não verificam o que contudo não causa erros importantes se os ensaios forem convenientemente conduzidos:

a) as partículas são esféricas;

b) existe uma suspensão uniforme no princípio do ensaio;

c) as partículas estão suficientemente afastadas umas das outras.

C — *Método da pipeta*

Constitui o método mais rigoroso de análise mecânica de finos, mas exige contudo o emprego de balanças de precisão (sensíveis a 0,0001 gr).

A aparelhagem a utilizar consiste, além duma pipeta com dispositivo de sucção, exsicador, forno de secar, balança pesando até 100 gramas sensível a 0,0001 gr, balança pesando até 7 kg sensível a 1 gr, dispersador de alta velocidade, cápsulas de porcelana, provetas graduadas, etc.

O princípio do método [4] consiste no facto de que à profundidade H e depois do tempo t, as partículas de diâmetro D dado pela lei de Stokes terão assentado abaixo dessa profundidade; as partículas menores que D *acima* da profundidade H manterão aí a mesma concentração que no princípio do ensaio, a partir de alturas H determinadas pelos diâmetros.

Colhendo 1 cm³ da suspensão ao fim de t segundos à profundidade H, e determinando por evaporação o peso do material sólido, a percentagem em peso das partículas de diâmetro inferior a D será dado pelo cociente

$$\frac{\text{peso das partículas por cm}^3 \text{ de profundidade H depois do tempo t}}{\text{peso das partículas por cm}^3 \text{ da suspensão inicial}} \times 100$$

Fazendo várias determinações a diferentes tempos teremos a curva granulométrica.

D — *Método do hidrómetro*

É um método muito mais expedito, embora menos rigoroso que o anterior. Foi aperfeiçoado por Casagrande em 1933 desenhando o hidrómetro de tal maneira que a operação da sua retirada da suspensão não perturbasse sensìvelmente a distribuição das partículas.

O hidrómetro pode fornecer a densidade da suspensão a um dado nível e instante, e a profundidade (contada a partir da superfície) do ponto no qual se mede a densidade.

Aferição do hidrómetro [4]. A primeira operação a fazer, duma vez para sempre, com um dado hidrómetro consiste em aferi-lo devidamente. Vejamos porquê.

Como se sabe, um hidrómetro mergulha na superfície até que a impulsão exercida no seu bolbo iguale o peso do líquido deslocado. E como essa impulsão varia com a concentração da solução, compreende-se que o hidrómetro nos dê indicações sobre a

densidade média ao longo da altura do seu bolbo.

Mas o aparelho apenas se mergulha o tempo necessário para fazer a leitura. O que acontece é que a altura medida da superfície da suspensão ao centro de gravidade do bolbo (altura que nos interessa para aplicação da lei de Stokes) é falseada pelo movimento em relação à superfície daquele volume da suspensão no qual flutua o aparelho e por ele deslocada.

A altura corrigida será a obtida na leitura directa do hidrómetro menos a correcção devida a esse movimento relativo à superfície livre, que se admite ser directamente proporcional ao volume do bolbo e inversamente proporcional à área da proveta de sedimentação.

A aferição resume-se justamente em obter a leitura corrigida em função da leitura directa do hidrómetro.

A aparelhagem necessária, além do hidrómetro consiste numa balança sensível a 0,01 gr, uma proveta graduada de 1.000 cm^3, e uma régua graduada em centímetros.

Determina-se em primeiro lugar o volume V_B do bolbo, por exemplo mergulhando o hidrómetro no cilindro cheio de água até uma dada divisão (da ordem de 700 cm^3) e verificando o número de cm^3 que esta sobe por este facto. Despreza-se a influência da haste. Também se pode proceder pesando o hidrómetro a menos de 0,01 gr; como a sua densidade anda muito próxima da unidade, o seu peso convertido em volume dá o volume do bolbo, mais o da haste, que é desprezável no ensaio.

—Calcula-se a área da proveta dividindo o volume entre duas graduações pela distância respectiva.

—Anotam-se as distâncias entre a divisão inferior da haste e cada uma das outras R_H.

—Mede-se a distância da divisão inferior da haste ao solo do bolbo. Agora as distâncias H_I desse colo a qualquer divisão R_H são a soma dos dois valores anteriormente determinados.

—Mede-se a altura h do bolbo; se este for simétrico, h/2 dá o seu centro de gravidade, caso contrário será preciso determiná-lo (por exemplo projectando o bolbo sobre uma folha de papel).

—A uma leitura R_H corresponde uma altura corrigida H_R dada pela fórmula:

$$H_R = H_I + \frac{1}{2}\left(h - \frac{V_B}{A}\right) \quad . \; . \quad (64)$$

que permite traçar a curva de aferição respectiva. Adiante apresentamos uma simples justificação desta fórmula.

Determinação de densidades [4]. A densidade medida pelo hidrómetro é referida à água à temperatura a que ele foi calibrado (geralmente 20° C); a essa temperatura o hidrómetro lê 1,000 na água destilada.

Mergulhemos o hidrómetro numa suspensão à temperatura de aferição e seja r_c a leitura respectiva. Se forem D_A e D_S as densidades à temperatura de aferição respectivamente da água e da suspensão, tem-se:

$$D_S = r_c \, D_A \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (65)$$

$$r_c \, D_A = [1 + (r_c - 1)] \, [1 + (D_A - 1)]$$

$$r_c \, D_A = [1 + r_c - 1 + D_A - 1] + (r_c - 1) \, (D_A - 1)$$

Como r_c e D_A são sensìvelmente iguais à unidade, desprezando-se o último termo resulta:

$$r_c \, D_A = r_c + D_A - 1$$

ou

$$D_S = r_c + D_A - 1 \quad . \; . \; . \; . \; . \quad (66)$$

Correcção de temperatura [4]. Os efeitos da temperatura sobre os resultados colhidos no hidrómetro, quando a temperatura da suspensão é diferente daquela a que o aparelho foi oferecido, traduzem-se por duas maneiras.

Uma delas corresponde à densidade do líquido, que varia com a temperatura; a determinação da respectiva correcção não oferece qualquer dificuldade.

A outra corresponde ao estabelecimento gradual de equilíbrio de temperatura entre a suspensão e o hidrómetro. Ora essa variação de temperatura é que provoca dife-

renças notáveis nas leituras, devidas à grande sensibilidade do aparelho.

Sejam r_c e r_T as leituras hidrométricas à temperatura T_c de aferição e à temperatura T, respectivamente; V o volume do bolbo à temperatura T_c; ε o coeficiente de dilatação cúbica do vidro; V_r o volume do bolbo à temperatura T.

Admitindo que a acção da temperatura se faz sentir sòmente sobre o bolbo, então

$$\frac{r_c}{r_T} = \frac{V}{V_T} = \frac{V}{V + V\,\varepsilon\,(T - T_c)} = \frac{1}{1 + \varepsilon\,(T - T_c)}$$

Atendendo a que $\varepsilon\,(T - T_c)$ é muito pequeno ($\varepsilon = 25 \times 10^{-6}$)

$$\frac{r_c}{r_T} = 1 - \varepsilon\,(T - T_c)$$

$$r_c = r_T - r_T\,\varepsilon\,(T - T_c)$$

Como r_T varia apenas entre 0,995 e 1,050, podemos escrever com aproximação suficiente na prática

$$r_c = r_T - \varepsilon\,(T - T_c) \quad . \; . \; . \; . \quad (67)$$

a equação (66) passa a ser

$$D_S = r_T - \varepsilon\,(T - T_c) + D_A - 1 \quad . \; . \quad (68)$$

Correcção de capilaridade [4]. A graduação do hidrómetro deve referir-se à superfície livre do líquido. Temos portanto de corrigir a altura do menisco que se forma à volta da haste. Seja R_H a leitura procurada à superfície do líquido, R'_H a leitura no topo do menisco e com a correcção de capilaridade (altura do menisco). Segundo a figura 61.

$$R_H = R'_H + c_m \quad . \; . \; . \; . \; . \quad (69)$$

A correcção c_m é uma constante para cada hidrómetro. Uma determinação aproximada pode ser feita mergulhando o aparelho em água límpida, fazendo a leitura no topo do menisco, e depois repetindo-a, mas com a vista colocada um pouco abaixo do plano de superfície do líquido e elevando-a lentamente até notar o desaparecimento da curvatura respectiva. A diferença das duas leituras é, com certa aproximação, a correcção procurada.

Uma maior precisão pode ser obtida recorrendo ao catetómetro.

Correcção dos agentes dispersores [4]. Muitas vezes torna-se necessário impedir a floculação da suspensão, adicionando certos dispersores como o oxalato de sódio. Mas essa adição provoca um aumento da densidade da suspensão com o consequente erro de leitura.

Este, contudo, é de fácil determinação. Basta encher uma proveta de 1.000 cm³ com água distilada, introduzir o hidrómetro, fazer a leitura, juntar uma quantidade de oxalato igual à que se julga necessária para o ensaio e ler novamente. A diferença de leituras dá a respectiva correcção c_d; que é de sentido oposto à do menisco e pode mesmo anulá-la.

Determinação de granulometria [4]. O hidrómetro mergulhado na suspensão permite avaliar a densidade média daquela ao longo do seu bolbo. Como a densidade varia com a profundidade (fig. 62), na realidade o que obtemos é a densidade correspondente ao centro de impulsão; como este difere só ligeiramente do centro de gravidade, podemos tomar este sem erro grave. Seja V o volume

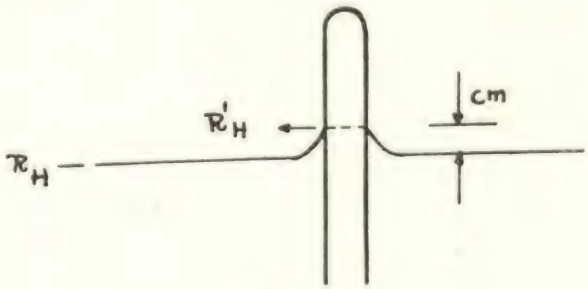


Fig. 61

da suspensão (cm³); P o peso do solo seco em suspensão (gr) P_D o peso do solo seco com partículas de diâmetro inferior a D.

Consideremos um ponto situado à profundidade H e no instante t; só existirão aí

partículas de diâmetro inferior a D_l. Isolemos um cm³ de suspensão nesse ponto. Teremos peso dos sólidos nesse cm³ $= \frac{P_D}{V}$ volume correspondente

$$= \frac{P_D}{V \gamma_0 D_S}$$

(supõe-se D_S constante com a temperatura)

Volume de líquido nesse cm³

$$= \left(1 - \frac{P_D}{V \gamma_0 D_S}\right)$$

(γ_0 = peso específico da água a 4.° C)

peso do líquido correspondente

$$= \left(1 - \frac{P_D}{V \gamma_0 D_S}\right) \gamma_0 D_L$$

(D_L = Densidade do líquido)

peso total do cm³

$$= \frac{P_D}{V} + \left(1 - \frac{P_D}{V \gamma_0 D_S}\right) \gamma_0 D_L$$

Densidade da suspensão

$$= \frac{\text{Peso de 1 cm}^3}{\text{Peso de 1 cm}^3 \text{ de água a 4.° C}}$$

$$D_A = \frac{P_D}{V \gamma_0} + \left(1 - \frac{P_D}{V \gamma_0 D_S}\right) D_L =$$

$$= \frac{P_D}{V_0 \gamma_0 D_S} (D_S - D_L) + D_L \quad . \; . \; (69)$$

Comparando com a equação (68)

$$r_T - \varepsilon (T - T_C) + D_A - 1 = \frac{P_D}{V_0 \gamma_0 D_S} (D_S - D_L) + D_L$$

donde

$$P_D = \frac{V \gamma_0 D_S}{(D_S - D_L)} \left[(r_T - 1) + A \right]$$

em que

$$A = (D_A - D_L) - \varepsilon (T - T_C) = m_T \, . \, 10^{-3}$$

sendo m_T uma função da temperatura, do hidrómetro e do líquido, determinada como já dissemos. (Os valores de m_T para diferentes temperaturas resumem-se em gráficos).

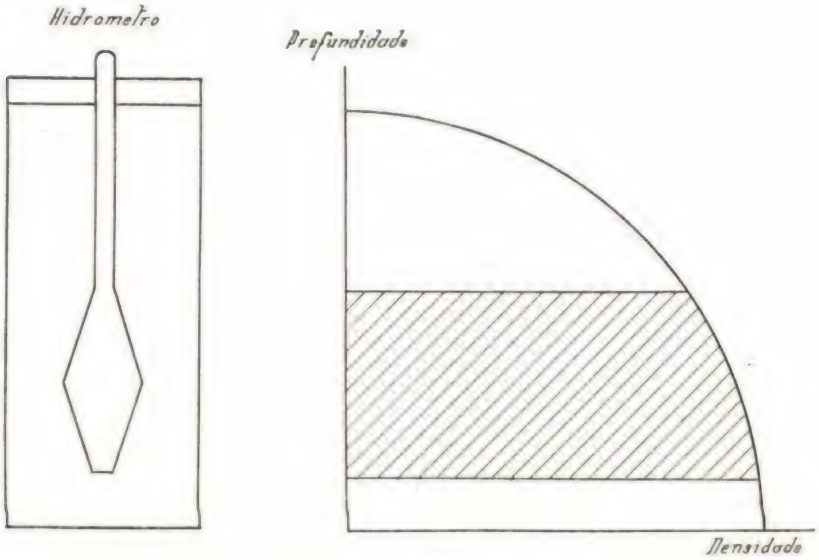


Fig. 62

É costume exprimir uma leitura qualquer, por exemplo $r_T = 1{,}0152$ do hidrómetro, por 15,2. Chamando R_H esse valor

$$R_H = (r_T - 1) \cdot 10^{-3}$$

Além disso $V = 1.000\ cm^3$

$$P_D = \frac{\gamma_0 D_S}{D_S D_L} [R_H + m_T]$$

e com $D_L = 1{,}00$, a percentagens, em peso, com diâmetros inferiores a D será

$$\frac{P_D}{P} \cdot 100 = \frac{100}{P} \cdot \frac{P_S}{D_S - 1} (R_H + m_T) \quad . \ . \ (70)$$

Em R_H supõe-se incluída a correcção c_d do agente dispersor

$$(R_H = R'_H + c_d).$$

Entrando com as correcções do menisco e do agente dispersor

$$\frac{P_D}{P} \cdot 100 = \frac{100}{P} \cdot \frac{D_S}{D_S - 1} [(R'_H + c_m) + m_T - c_d] \quad . \ . \ . \ . \ (71)$$

tro; a lei de Stokes dá imediatamente o diâmetro respectivo.

A altura a considerar é a distância entre a superfície do líquido e o centro do bolbo do hidrómetro. É necessário, como já vimos corrigir o aumento de altura devido à água deslocada pelo hidrómetro. Já vimos como se procedia a essa aferição e como a altura corrigida H_R é dada em função da altura lida R_H pela fórmula (64).

Segundo a fig. 63, tem-se pois

$$L_1 = L_2$$

$$H_H + \frac{V_B}{A} = H_1 + \frac{h}{2} + \frac{1}{2} \frac{V_B}{A}$$

ou

$$H_R = H_1 + \frac{1}{2} (h - \frac{V_B}{A})$$

que é justamente a fórmula citada.

Vejamos agora a série de operações [4].

A aparelhagem consiste em 2 hidrómetros (um de haste comprida, outro de haste curta), dispersador ou almofariz, garrafa de lavar, cápsulas de evaporação (20 e 12 cm de diâmetro), forno de secar, termómetro,

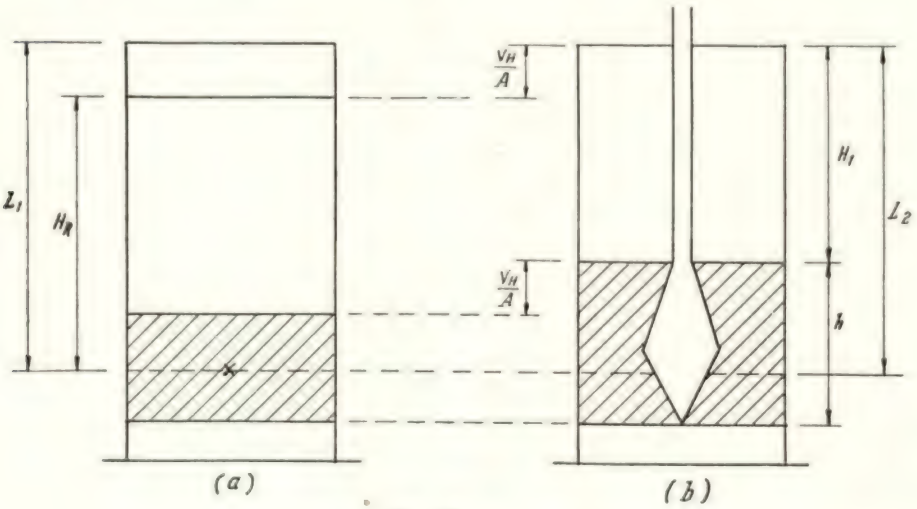


Fig. 63

(Diversos [4] pág. 124)

Ora nós conhecemos o instante do tempo em que se fez a leitura a que corresponde a percentagem (71); a altura de queda das partículas deduz-se da leitura do hidrómetro

pipeta, água destilada, oxalato de sódio, ácido clorídrico, água oxigenada, cronómetro, copo graduado de 400 cm^3, papel de filtro e colecção de crivos.

Temos de distinguir em primeiro lugar se se trata de solos, com predominância ou não de finos. Se houver mais de 50 % de partículas passando o crivo N.º 52 B. S. não é necessário proceder à separação. Pode-se então, se for necessário para conhecer melhor os grossos, proceder como se indicou na crivagem, lavando a amostra através dum crivo N.º 100 B. S. com um N.º 14 B. S. colocado superiormente para proteger aquele; a sequência das operações é a que foi descrita na devida altura.

—Se existem mais de 50 % de grossos separam-se estes lavando a amostra através do crivo N.º 200 B. S. protegido pelo N.º 14 B. S.

A parte da amostra correspondente aos grossos seca-se e criva-se como foi ensinado; a correspondente aos finos ensaia-se por sedimentação.

É sempre necessária uma amostra de 50 a 100 gr (finos).

—Se o solo tem possibilidade de presença de matéria orgânica, convém proceder ao seu pré-tratamento da maneira que se segue.

São necessários os seguintes reagentes: ácido clorídrico N/5, obtido misturando em 1.000 cm³ de água distilada 7,3 cm³ de ClH concentrado;
água oxigenada a 6 %.

Tomam-se 100 gramas de material passando o crivo n.º 7 B. S. e juntam-se 100 cm³ de água oxigenada a 6 % num frasco de 400 cm³. Aquece-se a 60° até que não haja reacção. Deixa-se arrefecer e trata-se com ClH N/5 até que a reacção cesse; filtra-se e lava-se com água destilada quente até eliminar o ácido.

Aquece-se ao forno, e nota-se a perda de peso.

Antes do tratamento podem tomar-se 3 gramas de solo e juntar ClH N/5; se não houver reacção não é necessário utilizar o ácido.

— Para começar a *análise húmida* pesam-se 30 a 40 gr de solo pré-tratado, seco no forno — ou solo natural que contenha aproximadamente esse peso de matéria sólida.

A razão do peso escolhido está em assegurar uma concentração tal que as partículas não exerçam influência umas sobre as outras de forma a falsear a lei de Stokes.

O solo é misturado com água, lentamente, usando uma espátula, até que a consistência seja duma pasta branda.

A água deve ser de preferência destilada.

— Coloca-se essa pasta num dispersador mecânico, juntando uma mistura de 200 cm³ de água destilada e 20 cm³ de oxalato de sódio N/2 (Este prepara-se colocando 5,025 gr de oxalato de sódio numa proveta, enchendo até 150 cm³ com água destilada). Mistura-se durante 15 minutos.

— Se não se dispuzer de dispersador, coloca-se a pasta numa tina de evaporação (120 m/m, juntam-se 250 cm³ de água destilada mais 20 cm³ de oxalato de sódio N/2; trabalha-se convenientemente a suspensão com uma mão de almofariz revestida de borracha, decantam-se para uma proveta graduada de 1.000 cm³ os 150 cm³ superiores da suspensão, junta-se mais água na tina e repete-se o processo até completar a transferência para a proveta.

— Determina-se a correcção do *agente dispersador,* juntando a 1.000 cm³ de água destilada numa proveta dessa capacidade 20 cm³ de oxalato de sódio N/2, mergulhando o hidrómetro e fazendo a leitura.

A correcção c_d é como se disse, a diferença entre esta e a obtida em água destilada pura.

— O solo depois de dispersado é transferido para uma proveta de 1.000 cm³, juntando água destilada até obter exactamente 1.000 cm³ de suspensão; tapando a boca com a palma da mão esquerda, agita-se vigorosamente durante um minuto, com a proveta invertida.

— *Imediatamente* a seguir, coloca-se a proveta numa mesa, põe-se a funcionar o contador de segundos e introduz-se o hidrómetro até um pouco além da sua linha de flutuação, abandonando-se logo livremente. Tanto a introdução como a extracção do hidrómetro têm de ser feitas com extremo cuidado, levando-se cerca de 10 segundos.

As leituras fazem-se ao meio minuto, um minuto e dois minutos; extrai-se o aparelho passa-se por água limpa e seca-se com um pano limpo.

Torna-se a introduzir, e a ler aos 4, 8,15, 30 minutos, 1, 2, 4 horas e depois 1 ou 2 vezes por dia; de cada vez que se remove o hidrómetro, tem-se os mesmos cuidados. Se o menisco não se forma convenientemente, pode ser por motivo da haste engordurada. Então deve lavar-se com sabão.

A temperatura da suspensão deve ser determinada, a menos de meio grau, uma vez nos primeiros 15 minutos e depois a seguir a cada leitura.

A correção do menisco, c_m, constante para cada hidrómetro, deve ter sido prèviamente determinada.

O hidrómetro deve ser limpo como se disse, pois secando ao ar, a evaporação arrefece-o, ou se for mantido flutuando em água limpa a água aderente aumenta-lhe o peso e diminui as leituras. — A temperatura média da suspensão durante o ensaio não deve diferir de mais de 2° C das temperaturas extremas, para que o erro na granulometria não atinja 2 %.

Se a variação máxima da temperatura do quarto não exceder 8° C essa condição está geralmente assegurada.

A suspensão deve estar fora da acção dos raios solares ou de qualquer fonte de calor; no intervalo das leituras convém cobrir a a proveta para diminuir a evaporação.

— Para finalizar, determina-se o peso em seco da matéria sólida da suspensão, colocando-a numa cápsula evaporadora e procedendo à sua secagem.

A operação da secagem pode ser facilitada da seguinte maneira. Adicionam-se à suspensão algumas gotas de ClH e agita-se docemente com uma vareta de vidro. Produz-se em poucas horas uma floculação com o correspondente assentamento da matéria sólida. Retira-se com sifão o líquido, deixando só o indispensável para dispersar e transferir o sedimento para a cápsula evaporadora.

Calculam-se os diâmetros D e portanto a granulometria pelas fórmulas expostas anteriormente, podendo lançar-se mão de monogramas que muito facilitam a tarefa.

A percentagem de partículas inferiores às de diâmetro equivalente *D* é

$$P_D\,\% = \frac{V\,D_S\,\gamma_0}{10\,P_S\,(D_S - D_2)}\,[R_H + m_T - c_d]$$

ou com unidades métricas e para um volume $V = 1.000\ cm^3$

$$P_D\,\% = \frac{100}{P_S}\,\frac{D_S}{D_S - 1}\,(R_H + m_T - c_d)$$

15 — Exemplo

Damos a seguir um exemplo de resultados obtidos com o método da pipeta.

Os resultados obtidos num ensaio de sedimentação com uma amostra passando no crivo N.º 200 B. S. foram os seguintes:

Leitura	Tempo	Profundidade à qual se colhe a amostra com uma pipeta de 20 cm³	Quantidade obtida por secagem de partículas sólidas na amostra de 20 cm³ colhida com a pipeta
I	0	Qualquer profundidade	20 Gr.
II	45 seg.	10 cm.	11,5 »
III	4 m 46 seg.	10 »	7,0 »
IV	9 m 30 seg.	5 »	3,5 »
V	4 horas	5 »	0,2 »

Determinar a granulometria, desprezando variações de temperatura.

A velocidade de assentamento é:

$$v = \frac{\text{profundidade}}{\text{tempo}}$$

Para as leituras sucessivas, e da fórmula de Stokes, resulta:

II $v = \frac{10}{45} = 0{,}222$ cm/seg $d = 0{,}047$ mm

III $v = \frac{10}{286} = 0{,}0384$ cm/seg $d = 0{,}0208$ mm

IV $v = \frac{5}{570} = 0{,}0088$ cms/eg $d = 0{,}01$ mm

V $v = \frac{5}{14{,}400} = 0{,}00034$ cm/seg $d = 0{,}002$ mm

donde as percentagens das partículas de diâmetros inferiores a:

N.º 200 B. S. 0,076	0,047 mm	0,0208 mm	0,01 mm	0,002 mm
100 %	$\frac{11{,}5}{20} = 57{,}5$ %	$\frac{7}{20} = 35$ %	$\frac{3{,}5}{20} = 17{,}5$ %	$\frac{0{,}2}{20} = 1$ %

16 — Limites de Atterberg

Já vimos que muitos tipos de solos suportam deformações rápidas sem alteração notável das propriedades elásticas e sem fender ou esfarelar. É essa propriedade que se designa por plasticidade.

A teoria de Goldsmith [4] parece explicar satisfatòriamente porque é que todas as argilas possuem esta propriedade desde que o grau de humidade seja suficiente. Baseia-se a explicação em admitir que as pequenas partículas achatadas que constituem as argilas funcionam como condensadores carregados negativamente à superfície.

As moléculas bipolares de água sofrem portanto na sua visinhança uma orientação definida, tal como mostra a fig. 64. Assim, o campo eléctrico duma partícula de argila abrange uma espessura aquosa grande — a água interessada comporta-se como cola, designando-se por água solidificada.

As bases experimentais da teoria são as seguintes:

— *a*) misturando um líquido unipolar com a argila não se obtém plasticidade;

— *b*) o contrário sucede utilizando líquidos bipolares diferentes da água;

— *c*) misturando líquidos bipolares com partículas, embora menores que 2 microns, que sejam arredondadas, não há plasticidade (caso do quartzo);

— *d*) mas já sucede o inverso utilizando partículas de mica, menores que 2 microns, porque estas são achatadas como as da argila.

A — *Limite líquido*

Já foi definido como o grau de humidade para o qual o solo se torna plástico.

O ensaio respectivo é de origem empírica e foi standardizado por Casagrande.

Mede o limite líquido como a percentagem de humidade (em função do peso seco) para o qual duas partes duma amostra de solo, colocada no aparelho da fig. 65 e separadas por uma faca entalhadora, se unem numa altura de 1,25 cm depois de 25 pancadas obtidas pelo jogo duma alavanca no aparelho.

Como só por acaso se acertaria com o grau de humidade correspondente, o que se faz é ensaiar diferentes graus de humidade e verificar qual o número de pancadas que realiza as condições de ensaio.

Traçando o gráfico (fig. 66) tem-se por interpolação o grau de humidade correspondente às 25 pancadas. Neste gráfico o número de pancadas está em escala logarítmica.

A altura de queda do aparelho, que produz a pancada, deve ser exactamente 1 cm.

A *aparelhagem* necessária consta, além do aparelho para determinação do limite líquido, faca entalhadora, recipiente de alumínio, pipeta, espátula, balança sensível a 0,001 gramas, exsicador e forno.

— *Preparação da amostra* [4]. É essencial a ausência de material grosso; isso obriga a utilizar uma amostra seca ao ar, pulverizada e passada pelo crivo 36 B. S. Esta é a prática americana.

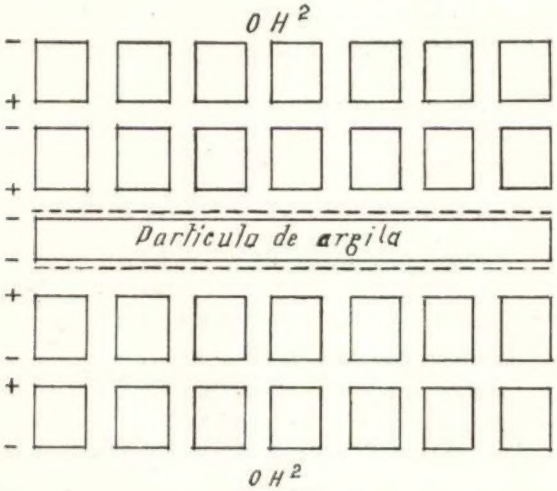


Fig. 64

Contudo, solos que não tenham elementos grossos podem ser usados em estado natural; nos outros procede-se geralmente à secagem no forno e depois são tratados num almofariz, tendo o cuidado de ao desfazer os grumos de solo não atingir a própria estrutura dos grãos.

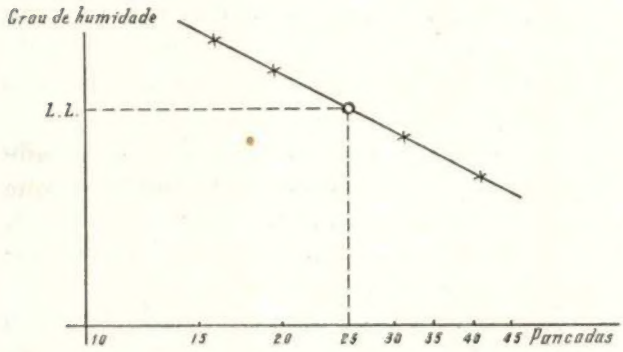


Fig. 66

É essencial anotar as condições da experiência, pois a secagem, mesmo feita ao ar, altera o limite líquido, sobretudo se existir matéria orgânica. Conhecem-se as argilas cujo limite líquido baixou de 50 para 39 por essa secagem.

É necessário preparar cerca de 100 gramas de pasta de solo com água, convenientemente misturada com auxílio duma espátula.

Ensaio [4]. Difere conforme se trata de argilas ou de materiais lodosos e arenosos. Em qualquer dos casos colocam-se no aparelho de 50 a 80 gramas da amostra preparada.

Para argilas, alisa-se a superfície e faz-se um entalhe com a faca própria, mantida perpendicularmente à superfície, e ao longo dum diâmetro perpendicular ao eixo de rotação da cápsula.

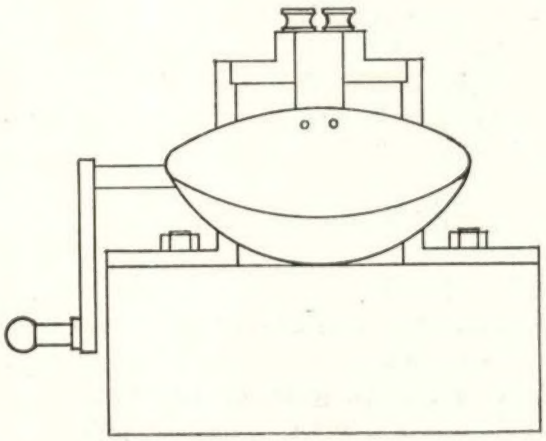


Fig. 65

Para materiais lodosos e arenosos, recorre-se a um outro tipo de faca, e é necessário um cuidado extremo em evitar que haja movimento de conjunto da amostra relativamente à cápsula.

Coloca-se então no suporte e gira-se a manivela à velocidade aproximada de duas voltas por segundo, até que a base do entalhe se feche num comprimento de 1/2″.

Todas estas operações — mistura, entalhe e contagem do número de pancadas — são repetidas até que haja três determinações sucessivas concordantes. Anota-se o número de pancadas para cada uma destas três últimas determinações.

— Colhem-se 5 a 10 gramas de solo junto ao corte, e colocam-se num recipiente de alumínio.

— Procura-se obter por repetição das operações, dois pontos da curva da fig. 66

situados entre 20 e 40 pancadas, e outros dois situados entre 10 e 20.

Convém começar pelo numero maior de pancadas, adicionando água com uma pipeta para obter depois as consistências mais fluidas.

— O recipiente de alumínio com a amostra é pesado.

— Retira-se a tampa do recipiente e coloca-se essa tampa ao lado do recipiente com a amostra no forno a 105° (durante 5 horas pelo menos).

—Retira-se tudo do forno, torna a por-se a tampa no recipiente e deixa-se arrefecer num exsicador.

—Pesa-se o recipiente com a amostra a menos de 0,001 gr, determinando-se assim o grau de humidade.

—Traça-se a curva da fig. 66 e determina-se o limite líquido.

B — *Limite plástico*

Já o definimos como o menor grau de humidade com que é possível enrolar o solo em filamentos de cerca de 3 mm (1/8") de diâmetro sem que estes se quebrem.

Vejamos a forma de proceder [4].

—Retira-se da amostra preparada utilizada no ensaio anterior um bocado de solo com cerca de 1 cm^3 ou pouco mais.

—Rola-se essa amostra numa placa de vidro ou numa folha de papel limpo. reduzindo-se desta forma o grau de humidade. Procede-se assim até que o cilindro de 3 mm se quebre.

—Colocam-se os pedaços num recipiente de alumínio e pesa-se a menos de 0,001 gr.

—Seca-se a amostra (com o recipiente aberto) durante 5 horas pelo menos; depois coloca-se a tampa e deixa-se arrefecer num exsicador.

— Pesa-se de novo o recipiente com a amostra, também a 0,001 gr e deduz-se o grau de humidade.

Devem fazer-se pelo menos duas determinações, concordando a menos de 0,01 gr; a média é que se toma para valor do limite plástico.

C — *Indice de plasticidade*

É a diferença entre os limites líquido e plástico.

D — *Limite de retracção*

É o maior grau de humidade para o qual não se produz variação de volume quando se procede à secagem da amostra;

—Seca-se a amostra ao ar, depois no forno a 105° C. Determina-se o volume por imersão no mercúrio. Atendendo ao peso da amostra, densidade real e volume a seco, estabelece-se o grau de humidade correspondente ao instante em que os vazios estavam cheios de água. — É este o limite de retracção.

E — *Retracção linear*

É a retracção linear sofrida com o grau de humidade correspondente ao limite líquido, depois de seco o solo na estufa.

—Coloca-se um pouco da amostra utilizada na determinação do limite líquido numa forma, untada com parafina, fazendo-se o seu enchimento com uma espátula

—Seca-se a 105°, e mede-se a retracção com um compasso de pontas e uma régua graduada em meios milímetros.

A contracção por unidade de comprimento dá o valor procurado.

É possível traçar uma curva relacionando as duas grandezas de retracção, e neste caso este último método pode servir para trabalhos de campo.

(Continua)

DECANTAÇÃO. DESTILAÇÃO. CONDENSAÇÃO

PELO ENG.º QUÍMICO-INDUSTRIAL LUÍS A. DE ALMEIDA ALVES
Assistente do I. S. T.

C. D. 66.04

Introdução

O estudo da destilação e da condensação tem uma importância muito grande na Engenharia Química, por se aplicar a dois problemas fundamentais: Separação de misturas líquidas (em particular, na Indústria dos Petróleos) e separação de misturas gasosas por liquefacção a baixas temperaturas (em particular, na produção do azoto e oxigénio a partir do ar e do hidrogénio a partir dos gases dos fornos de coque). A decantação aparece como uma operação de menos importância, sendo utilizada na separação de líquidos não miscíveis.

Fundamentalmente, a destilação consiste em vaporizar parcialmente uma mistura líquida, obtendo-se um vapor que, como se sabe ([1]), tem, em geral, uma composição diferente da do líquido; nestas condições, se se efectuar uma condensação desse vapor, fora do contacto com o líquido inicial, obtém-se um líquido com uma composição diferente, variando, também, a composição da mistura de que se partiu. A condensação do vapor obtido pode efectuar-se, também, parcialmente, dando origem a uma nova mudança de composição.

Conjugando, convenientemente, a vaporização e a condensação é possível obter, na maioria dos casos, a partir da mistura inicial, uma mistura com a composição que se pretender, tendo como caso limite, a separação completa dos diferentes componentes.

O estudo teórico do problema é naturalmente complexo, especialmente se se tratar de misturas de vários componentes; por isso, e atendendo à relativa especialização a que se destina, não lhe daremos grande desenvolvimento, e limitar-nos-emos a dar noções fundamentais que permitam, com facilidade, fazer a leitura de livros mais completos.

No que se refere à decantação, nada há a acrescentar ao que se disse a propósito da centrifugação de líquidos de densidades diferentes, ([1]) a não ser que a superfície de separação passa a ser um plano horizontal o que facilita o estudo do problema.

CAPÍTULO I

DIAGRAMAS USUAIS

a) *Generalidades*

Do que se disse anteriormente, pode concluir-se que, para fazer o estudo da destilação, é necessário conhecer, à temperatura de vaporização da mistura líquida, qual a composição do vapor que lhe corresponde, para cada pressão de trabalho.

Consideremos uma mistura de q líquidos completamente miscíveis e sejam $x_1, x_2 \ldots x_q$ as respectivas fracções moleculares, tais que $\sum_i x_i = 0$. Admitindo que é válida a lei de Raoult ([2]), a tensão de vapor de cada componente a uma dada temperatura de ebulição será

$$p'_i = p_i \; x_i ,$$

sendo p_i a tensão de vapor de cada componente quando isolado.

A tensão total de vapor p será

$$p = \sum_i p'_i = \sum_i p_i x_i$$

([1]) «Secagem», «Técnica», n.º 191, pág. 405.

([1]) «Centrifugação», «Técnica», n.º 190, pág. 290.

([2]) «Secagem», «Técnica», n.º 191, pág. 405.

e a composição da mistura gasosa será dada pelas fracções moleculares $y_1, y_2 \dots y_q$ dos componentes na fase gasosa, tais que

$$y_i = \frac{p'_i}{p} = \frac{p_i x_i}{p}, \text{ sendo}$$

$$\sum_i y_i = 1$$

As equações

$$\sum_i x_i = x_1 + x_2 + \dots + x_q = 1 \qquad (1)$$

$$\sum_i p_i x'_i = p_1 x_1 + p_2 x_2 + \dots + p_q x_q = p \qquad (2)$$

representam dois planos num espaço q dimensões [1], cuja intersecção representa uma recta que é o lugar geométrico [2] dos pontos correspondentes às misturas líquidas com a mesma temperatura de ebulição, à pressão total p. Esta recta tem o nome de *isotérmica do líquido.*

Por outro lado, será

$$\sum_i y_i = y_1 + y_2 + \dots + y_q = 1 \dots \qquad (3)$$

$$\sum_i x_i = \sum_i p \frac{y_i}{p_i} = p\left(\frac{y_1}{p_1} + \dots + \frac{y_q}{p_q}\right) = 1 \dots \qquad (4)$$

Estas equações apresentam também dois planos cuja intersecção representa a *isotérmica do vapor.* (Deve notar-se que as equações $\sum_i x_i = 1$ e $\sum_i y_i = 1$ representam o mesmo plano).

A cada ponto de uma isotérmica do líquido corresponde um ponto da isotérmica do vapor; cada um dos pontos correspondentes tem o nome de *nodo* e o segmento que une cada par de nodos tem o nome de recta *conodal* (ou tie-line, designação já conhecida da «Extracção» [3]). Por outro lado, cada ponto de uma isotérmica do líquido pertence simultâneamente a uma isotérmica de vapor a outra temperatura, à qual corresponde um ponto de uma isotérmica do líquido, à nova temperatura; esta série de pontos sucessivos define um lugar geométrico designado por *curva de destilação.* O conjunto das curvas de destilação ou das conodais permite estudar a variação das composições das fases líquida e gasosa durante a destilação.

Consideremos uma mistura líquida com uma composição correspondente a um ponto $(x_1, x_2, \dots x_q)$ a uma temperatura inferior à de ebulição. Quando se atingir esta temperatura, forma-se a primeira quantidade de vapor com uma composição $(y_1, y_2, \dots y_q)$, que se determina a partir da curva de destilação que passa pelo ponto de vaporização, ou da conodal correspondente a este ponto; este vapor será mais rico nos componentes mais voláteis (visto que estes têm tensões de vapor mais elevadas) e, portanto, o líquido ficará enriquecido nos componentes menos voláteis. Sendo assim, a temperatura de ebulição da mistura aumenta e, portanto, a vaporização passa a efectuar-se num ponto de uma isotérmica líquida correspondente a uma temperatura superior, pelo qual passa uma nova curva de destilação (e uma nova conodal) que determina uma nova composição de vapor situada na isotérmica de vapor correspondente.

O processo continua de uma maneira contínua, durante a coexistência das duas fases; quando o líquido estiver totalmente vaporizado a composição do vapor total que se obtém será evidentemente a da fase líquida.

Os casos mais importantes, na prática, são, em geral, os das misturas ternárias e binárias, para as quais as equações anteriores têm um significado geométrico.

b) *Misturas ternárias*

Neste caso, as equações 1), 2), 3) e 4) podem escrever-se

$$x_1 + x_2 + x_3 = 1 \dots \qquad (1')$$

$$\frac{p_1}{p} x_1 + \frac{p_2}{p} x_2 + \frac{p_3}{p} x_3 = 1 \qquad (2')$$

$$y_1 + y_2 + y_3 = 1 \qquad (3')$$

$$\frac{p}{p_1} y_1 + \frac{p}{p_2} y_2 + \frac{p}{p_3} y_3 = 1 \qquad (4')$$

---

(1) Matemáticas Gerais — Geometria Analítica.

(2) Deve notar-se que este lugar geométrico não tem significado geométrico quando $q > 3$.

(3) «Extracção», *Técnica* n.º 185, pág. 1062.